

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«На правах рукопису»

УДК 661.3

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

_____ Андрій СТЕПАНЮК

“ _____ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані
технології проектування інноваційного галузевого обладнання»**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

**на тему: «Модернізація установки виробництва каустичної соди з розробкою
випарного апарата та апарата зворотного осмосу»**

Виконав:

студент 2 курсу, групи ЛМ-41мп

Денис СЕМЕНОВ _____

Науковий керівник:

Доцент, к.т.н. Сергій ГУЛІЄНКО _____

Консультанти:

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

ст. викл., к.т.н. Андрій КОВТУН _____

розробка стартап-проекту

доцент, к.е.н., доцент КПМ Наталія ЮДІНА _____

автоматичний контроль і керування процесом

професор, д.т.н. Олексій ЖУЧЕНКО _____

комп'ютерне моделювання процесів взаємодії

асистент Микита БИШКО _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____ Денис СЕМЕНОВ

Київ – 2025 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“ КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність: 133 - Галузеве машинобудування

Освітня програма (спеціалізація): Інжиніринг та комп’ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Андрій СТЕПАНЮК

“ ____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Семенову Денису Павловичу

1. Тема дисертації : «Модернізація установки виробництва каустичної соди з розробкою випарного апарата та апарата зворотного осмосу»

Науковий керівник дисертації: доцент., к.т.н. Гулієнко С. В.

Затверджена наказом по університету від “ ____ ” _____ 2025 р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації: « ____ » _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту: продуктивність 18 т/год за розділюваним розчином; початкова концентрація у мембранному апараті 0,8% мас; допустимі втрати солі 4%; тиск 6 МПа, кінцева концентрація у випарному апараті - 35% мас.

4. Зміст пояснювальної записки:

а) основна частина: обґрунтувати вибір конструкцій випарного апарата та апарата зворотного осмосу, виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій, а саме, технологічний, параметричний, конструктивний, гідравлічний розрахунки, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкцій цих апаратів;

б) маркетинг стартап–проектів: створити стартап–проект модернізованого апарату;

в) охорона праці: провести аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які пов’язані з виробництвом каустичної соди, розглянути питання захисту персоналу

та обладнання під час роботи та оцінити потенційну надзвичайну ситуацію, наслідки та способи протидії;

г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування блоку розроблених апаратів, а також скласти специфікацію приладів;

д) комп'ютерне моделювання процесів взаємодії: провести моделювання процесів взаємодії у вигляді симуляційного експерименту для підтвердження працездатності модернізованого апарата.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): принципова схема установки – А1, схема автоматизації установки – А1; складальні креслення: випарний апарат – А0, гріюча камера – А1, мембранний апарат – А1, рама – А1, корпус мембранного апарата – А1, ілюстрація технічної ідеї патенту, результати комп'ютерного моделювання процесів, симуляційний експеримент, що підтверджує запропоновану модернізацію – А1×2.

6. Перелік публікацій: три тези доповідей за темою магістерської дисертації

7. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Ім'я ПРИЗВИЩЕ консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Андрій КОВТУН		
Розробка стартап-проекту	Наталія ЮДІНА		
Автоматичний контроль та керування процесом	Олексій ЖУЧЕНКО		
Комп'ютерне моделювання процесів взаємодії	Микита БИШКО		

8. Дата видачі завдання 01 вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Терміни виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	2	3	4
1	Переддипломна практика. Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Добір матеріалів. Складання звіту з практики. (Під час проходження практики необхідно виконання креслеників орієнтовним обсягом 8 форматів А1)	01.09.2025	
2	Патентне дослідження. Формування ідеї модернізації. Створення стартап-проєкту.	27.09.2025	
3	Обґрунтування актуальності проєкту. Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкцій випарного та мембранного апаратів. Технічна характеристика установки, апаратів.	01.10.2025	
4	Виконання моделювання запропонованої модернізації	10.10.2025	
5	Параметричні розрахунки: визначення основних розмірів апаратів. Розрахунок гідравлічного опору апаратів	16.10.2025	
6	Розрахунки на міцність. Розробка програм і супроводжуючих документів. Виконання схем	19.10.2025	
7	Розробка складальних креслень апаратів і їх Складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апаратів	21.10.2025	
8	Консультації відповідно до графіку з питань охорони праці, стартап-проєкту, автоматизації	05.11.2025	
9	Уточнення графічної частини проєкту і специфікацій	18.11.2025	
10	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проєкту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань	25.11.2025	
11	Попередній захист проєкту	08.12.2025	

1	2	3	4
12	Корегування проєкту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	10.12.2025	

Студент

_____ Денис СЕМЕНОВ
(підпис)

Керівник магістерської дисертації

_____ Сергій ГУЛІЄНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 661.3

Магістерська дисертація на тему «Модернізація установки виробництва каустичної соди з розробкою випарного апарата та апарата зворотного осмосу» / КПП ім. Ігоря Сікорського; Керівник С. В. Гулієнко. – Київ., 2025. – 186 с. Викон. – Д. П. Семенов – Бібліогр.: с. 116.

Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновків і списку посилань із 38 найменувань. Загальний обсяг записки становить 182 сторінки, з них 122 сторінок основного тексту, 23 рисунків, 24 таблиць і 6 додатків.

Мета магістерської дисертації полягає в модернізації установки виробництва каустичної соди з розробкою випарного апарата та апарата зворотного осмосу.

Записка містить опис технологічного процесу, вибір типу апаратів, їх місце в технологічній схемі, технічну характеристику апаратів, обґрунтування вибору конструкцій апаратів, що проектуються і принцип дії їх основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників розробленої конструкції апаратів з аналогами, патентне дослідження конструкцій апаратів. Наведено заходи, щодо охорони праці, рекомендації з монтажу та експлуатації. Проведено модернізацію установки та розроблено стартап проект.

Проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів. Визначено рівень стандартизації та уніфікації. Розроблено автоматичну схему керуванням процесом.

КАУСТИЧНА СОДА, АПАРАТ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ, ВИПАРНИЙ АПАРАТ.

ABSTRACT

UDC 661.3

Master's thesis titled "Modernization of a Caustic Soda Production Unit with the Development of an Evaporator and a Reverse Osmosis Apparatus" / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; Supervisor: S. V. Hulienko. — Kyiv, 2025. — 186 p. Completed by D. P. Semenov. — References: p. 116.

The explanatory report consists of an introduction, eight chapters, conclusions, and a list of references comprising 38 sources. The total volume of the report is 186 pages, including 122 pages of the main text, 23 figures, 24 tables, and 6 appendices.

The purpose of the master's thesis is to modernize a caustic soda production unit through the design of an evaporator and a reverse osmosis apparatus.

The report includes a description of the technological process, selection of apparatus types and their placement within the technological scheme, technical characteristics of the equipment, justification of the selected designs of the developed apparatuses, and an explanation of the operating principles of their main assemblies and components. A comparison of the key performance indicators of the developed apparatus designs with existing analogues is presented, along with a patent study of the apparatus constructions. Measures related to occupational safety, as well as recommendations for installation and operation, are provided. The production unit was modernized, and a startup project was developed.

Calculations confirming the operability and reliability of the apparatus designs were performed. The level of standardization and unification was determined. An automatic process control scheme was developed.

CAUSTIC SODA, REVERSE OSMOSIS APPARATUS, EVAPORATOR.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних
виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ**

Освітнього ступеня «магістр»

з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

**освітня програма (спеціалізація): Інжиніринг та комп'ютерно-
інтегровані технології проектування інноваційного галузевого
обладнання**

**на тему: Модернізація установки виробництва каустичної соди
з розробкою випарного апарата та апарата зворотного осмосу**

Київ 2025

Зміст

1	Призначення та область застосування апарату	15
1.1	Опис технологічного процесу	15
1.2	Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі	18
2	Технічна характеристика апаратів.....	19
3	Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів	20
3.1	Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей.....	20
3.2	Порівняння основних показників розроблених конструкцій з аналогами..	22
3.3	Вибір матеріалів	25
3.4	Патентне дослідження	26
4	Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції...	41
4.1	Розрахунок апарата зворотного осмосу	41
4.1.1	Параметричний розрахунок	41
4.1.2	Розрахунок на міцність циліндричної одношарової обичайки	52
4.1.3	Розрахунок на міцність плоскої кришки.....	55
4.2	Розрахунок випарного апарата	57
4.2.1	Визначення основних геометричних розмірів апарата	57
4.2.2	Конструктивний розрахунок	63
4.2.3	Розрахунок допоміжного обладнання.....	66
4.2.4	Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском.....	69

Відповідальна організація КПІ ім. Ігоря Сікорського	Технічне узгодження Новохат О.А.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа КПІ ім. Ігоря Сікорського ФАПІЕ	Розробник документа Семенов Д.П.	Назва, додаткова назва Модернізація установки виробництва каустичної соди з розробкою випарного апарата та апарата зворотного осмосу	ЛМ41мп.066131.001 ПЗ			
	Документ затверджено Гулієнко С.В.		Інд. змін	Дата видання 10.12.2025	Мова UA	Аркуш 9

4.2.5 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском	71
4.2.6 Розрахунок кінцевого днища	73
4.2.7 Розрахунок несучої спроможності вертикальних циліндричних обичайок від дії реакції опорних лап	76
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	79
5.1 Небезпека ураження струмом під час роботи обладнання	80
5.2 Рівень виробничого шуму	81
5.3 Пожежна безпека.....	82
5.4 Мікроклімат	84
5.5 Надзвичайна ситуація	85
6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апаратів	87
7 Рівень стандартизації та уніфікації	89
8 Стартап-проект	90
8.1 Опис ідеї стартап проекту	90
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	92
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	94
8.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	103
8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	108
8.6 Висновки	112
Висновки	114
Conclusion.....	115
Перелік посилань.....	116

Додаток А Автоматизація технологічного процесу виробництва каустичної соди	123
Додаток Б Модернізація	139
Додаток В Комп'ютерний розрахунок елементів апарата	144
Додаток Г Документація до патентного дослідження.....	148
Додаток Д Патенти, які використані в патентному дослідженні	156
Додаток Ж Публікації автора.....	167

Перелік скорочень, умовних позначень, одиниць та термінів

Γ_d – симплекс подібності частинок до мішалки;

Γ_D – симплекс подібності мішалки до апарата;

Γ_{h_b} – глибина воронки, м;

Γ_{h_m} – симплекс висоти встановлювання мішалки;

Π – швидкість корозії, мм/рік;

D_b – внутрішній діаметр апарата, м;

d – діаметр, м;

E – модуль пружності, МПа;

F – площа, м²;

F_1 – ветрикальна сила, МН;

f – площа поперечного перерізу, м²;

$F_{зов}$ – зовнішня осьова сила, Н;

Fr – критерій Фруда;

g – прискорення вільного падіння: 9,81 м/с²;

G – продуктивність, кг/с;

G_V – об'ємна продуктивність, м³/с;

Ga – критерій Галілея;

H_p – висота рідини в апараті, м;

h_1 – висота циліндричної частини кришки, м;

h_b – висота еліптичної частини кришки, м;

K – коефіцієнт;

K_N – критерій потужності;

l – довжина, м;

L – довжина, м;

m – маса, кг;

M – момент, Н·м;

M_i - сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, грн.
 n – частота обертання, об/с;
 n_b – кількість болтів;
 n_{pi} - коефіцієнт ефективності витрат;
 N – потужність, Вт;
 $N_{\text{заг}}$ – загальна кількість складових частин;
 N_0 – кількість оригінальних частин;
 P – тиск, Па;
 $[P]$ – допустимий тиск, Па;
 $[q]$ – допустимий тиск, МПа;
 $q_{\text{обт}}$ – тиск обтискання, МПа;
 R – радіус, м;
 $R_{\text{заз}}$ - захисне заземлення, Ом;
 Re - критерій Рейнольдса;
 S_p – симплекс подібності густини;
 S – товщина стінки;
 S_{ei} - перевищення експлуатаційних витрат, грн.;
 T – час циклу, с;
 Q – продуктивність, т/год;
 V – об'єм, м³;
 $\bar{X}$ – масова частка твердої фази в суспензії, кг/кг;
 $\tilde{X}$ - об'ємна частка твердої фази в суспензії, м³/м³;
 β – коефіцієнт;
 $\Delta\rho$ - різниця густин;
 μ – динамічна в'язкість, Па·с (сП);
 ρ – густина, кг/м³;

Вступ

Каустична сода (натрій гідроксид) належить до основних неорганічних продуктів хімічної промисловості й посідає важливе місце в багатьох технологічних процесах. Її застосовують під час виробництва паперової продукції, мийних засобів, текстильних матеріалів, полімерів, а також у нафтохімічних та харчових технологіях. Основними шляхами отримання є електроліз розчину натрій хлориду та хіміко-технологічні методи, що ґрунтуються на взаємодії соди з вапном.

Процес виготовлення каустичної соди складається з низки послідовних операцій, включно із стадіями очищення, концентрування та усунення побічних домішок. Одним із ключових елементів технологічної схеми є випаровування та очистка лужного розчину, що забезпечують досягнення необхідної концентрації та поліпшення якості кінцевого продукту. Важливу функцію виконують мембранні методи розділення, зокрема зворотний осмос, який дозволяє відокремлювати солі та інші забруднення, а також випарні апарати, у яких здійснюється зневоднення та згущення розчину.

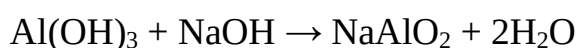
У межах цієї роботи проаналізовано технологію виробництва каустичної соди з акцентом на мембранних процесах і випарювальних процесах. Особливу увагу приділено конструкції апаратів, що забезпечують ці стадії, їх принципу функціонування, особливостям експлуатації та можливостям модернізації з метою підвищення енергоефективності та продуктивності. Такий підхід дає змогу глибше дослідити роботу основного технологічного обладнання та визначити потенційні напрями вдосконалення загальної виробничої схеми.

1 Призначення та область застосування апарату

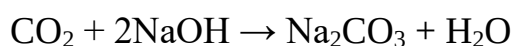
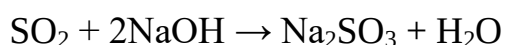
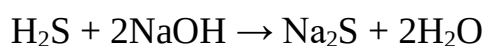
1.1 Опис технологічного процесу

Розвиток виробництва каустичної соди (NaOH) упродовж XIX століття відбувався синхронно з удосконаленням технологій одержання кальцинованої соди [1]. Це пояснюється тим, що в ранніх хімічних способах добування NaOH як вихідну речовину використовували кальциновану соду: її переводили у содовий розчин і обробляли вапняним молоком. У 1882 році було запроваджено економічно ефективніший промисловий метод, а пізніше сформувалися основні напрями застосування продукту. Каустична сода стала широко затребуваною в нафтопереробці, хімічній та целюлозно-паперовій промисловості й ряді інших виробництв.

Водні розчини каустичної соди проявляють властивості сильних лугів [2]. Однією із найпоширеніших сфер застосування є реакції нейтралізації, спрямовані на утворення натрієвих солей. Гідроксид натрію активно взаємодіє з амфотерними металами (Al, Zn), їх оксидами та гідроксидами, утворюючи комплексні аніони, як $[\text{AlO}_2]^-$ і $[\text{ZnO}_2]^{2-}$.



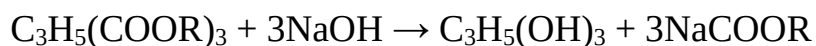
Також каустична сода може вступати в реакцію з газами деяких слабких кислот по типу H_2S , SO_2 , CO_2 :



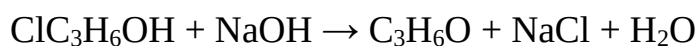
У промисловості ці реакції застосовують під час очищення газових викидів, а також для вилучення H_2S із природного та нафтового газу.

Металеві іони у водних розчинах NaOH осаджуються у формі відповідних гідроксидів. Зокрема, реакції за участю магнію приводять до утворення $Mg(OH)_2$, що важливо на етапах первинного очищення та усунення домішок.

Органічні кислоти у взаємодії з натрій гідроксидом утворюють розчинні солі. Реакції омилення естерів супроводжуються одержанням спиртів і солей органічних кислот. Типовий приклад — омилення тригліцеридів із формуванням гліцерину та мила:

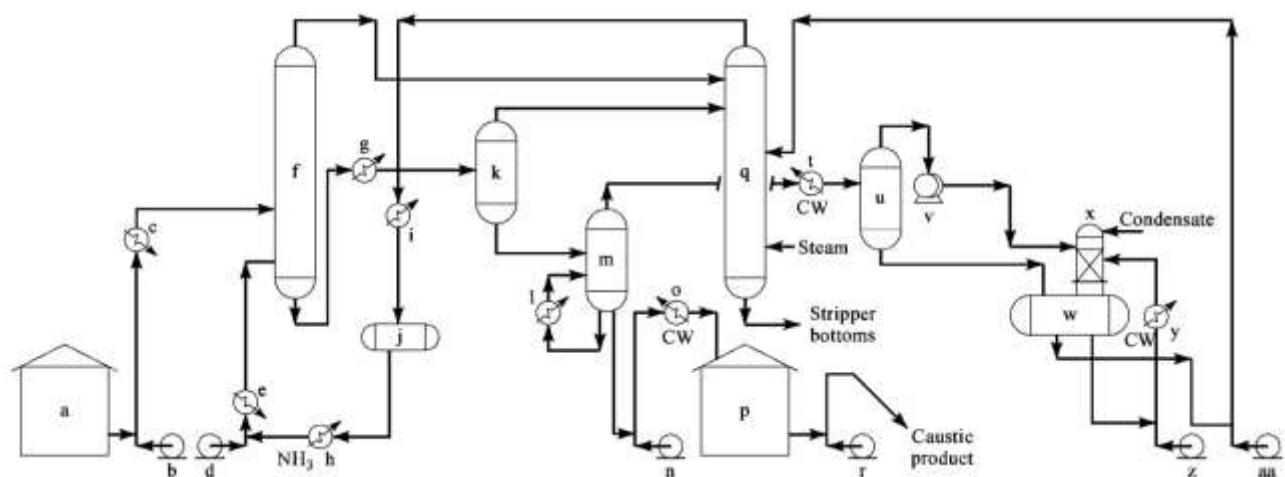


Ще однією важливою реакцією є перетворення пропіленхлоргідрину в пропіленоксид:



Гідроксид натрію широко застосовують у технологічних процесах, пов'язаних з природними матеріалами. Серед таких операцій — розчинення бавовни під час регенерації гуми, декстринація крохмалю, очищення текстильних волокон, рафінація олій, а також вилучення лігніну та геміцелюлози в процесі переробки деревини. У целюлозно-паперовій промисловості NaOH необхідний для отримання натрієвих солей монохлороцтової кислоти, а також карбоксиметилцелюлози. Аналогічні реакції використовують під час мерсеризації бавовни та у виробництві віскозного волокна.

Каустична сода, отримана діафрагменним способом, потребує додаткового очищення. Один із комерційних підходів, запропонований компаніями PPG та OxxTech [2] передбачає технологію рідинно-рідинної екстракції, що дає змогу суттєво зменшити вміст солей та хлоратів натрію у продукті. Схема виробництва та її складові наведено на рисунку 1.1



а – резервуар для 50% каустичної соди, b – насоси подачі 50% каустичної соди, c – підігрівач каустичної соди, d – насоси подачі аміаку, e – підігрівач аміаку, f – екстрактор, g – додатковий підігрівач, h – охолоджувач аміаку, i – конденсатор випарника, j – резервуар для безводного аміаку, k – основний випарник, l – випарник-регенератор, m – випарник, n – насоси подачі очищеної каустичної соди, o – охолоджувач очищеного продукту, p – резервуар очищеної каустичної соди, q – стрипер аміаку, r – насоси подачі очищеної каустичної соди, t – конденсатор парів, u – випарник, v – вакуумний насос випарника, w – резервуар для водного аміаку, x – скруббер аміаку, y – конденсатор скруббера, z – насос рециркуляції аміаку, aa – насос відновлення аміаку, CW – холодна вода

Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення каустичної соди

Очищення ґрунтується на контакті 50-відсоткового розчину NaOH з рідким аміаком у протитечійному режимі за температури близько 60 °C і тиску до 2500 кПа. Аміак вибірково поглинає хлорат, карбонати, воду та частину солей натрію. Після випаровування аміак концентрується і повертається в цикл, а очищений лужний розчин переходить до наступної стадії.

У кінцевому продукті міститься приблизно 62 % NaOH зі значно зниженим рівнем домішок. Для усунення слідів Fe, Ni, Pb та Cu застосовують електроліз із використанням пористих катодів.

1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі

Встановлення мембранного апарата перед випарним апаратом дає змогу підсилити якість очищення каустичного розчину: мембранний етап ефективніше прибирає залишкові домішки (солі, іони важких металів та інші забруднювачі), які не повністю усуваються на попередніх операціях. У результаті підвищується якість кінцевого продукту та зменшуються ризики небажаних побічних реакцій у подальших стадіях процесу.

Крім того, установка зворотного осмосу знижує навантаження на випарний апарат і суміжні вузли: потік перед випаровуванням міститиме менше солей і схильних до відкладень компонентів, що допомагає зменшити корозійний вплив, продовжити ресурс обладнання та зменшити кількість ремонтних робіт. Пермеат можна повернути у водний контур, скоротивши витрати свіжої води та покращивши екологічні показники процесу.

Розміщення випарного апарату після мембранного очищення є доцільним, оскільки попереднє видалення домішок і солей знижує ймовірність утворення накипу на поверхнях нагріву. Це забезпечує триваліший термін служби обладнання та стабільність теплопередачі. Випарник необхідний, щоб отримати більш концентрований та чистий кінцевий продукт у вигляді каустичної соди.

2 Технічна характеристика апаратів

Апарат зворотного осмосу:

Кількість модулів, шт	3
Продуктивність за пермеатом, кг/(м ² *с)	0,023
Коефіцієнт розділення мембрани	0,98
Габаритні розміри:	
- діаметр апарата, м	0,12
- внутрішній діаметр апарата, м	0,1
- довжина мембранного пакета, м	1
- робоча висота модуля,	1
- товщина мембранного пакета, м	0,9*10 ⁻³
Температура розчину, °С	25
Робочий тиск, МПа	6

Випарний апарат:

Максимальна температура, °С	119,6
Тиск в апараті:	
- в міжтрубному просторі, МПа	0,2
- в трубному просторі, МПа	0,6
Середовище:	
- трубний	розчин солей
- міжтрубний	пар
Габаритні розміри	
- діаметр,	1,8
- висота, м	19,25

3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів

3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

На рисунку 3.1 зображено конструкцію мембрани зворотного осмосу [3]. Вона має багатошарову будову, що забезпечує ефективне відділення домішок від води. Основними елементами є зовнішня оболонка, водозбірний шар, мембрана, водопровідний (концентратний) шар, перфорована водозбірна трубка та ущільнювальне кільце. Забруднена вода (живлення) подається під тиском уздовж мембрани, де вона стикається з напівпроникним шаром. Через пори мембрани проходять лише молекули води, тоді як розчинені солі, органічні сполуки й інші домішки затримуються. Водопровідний шар сприяє рівномірному розподілу потоку по поверхні мембрани, а водозбірний шар збирає очищену воду (пермеат) і подає її у перфоровану трубку.

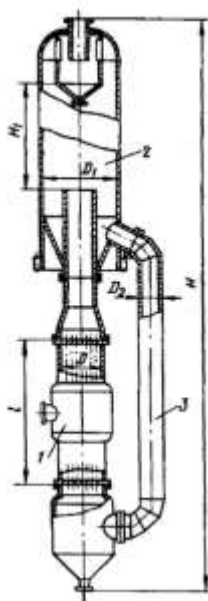


Рисунок 3.1 – Конструкція мембрани зворотного осмосу

У результаті роботи мембранного елемента утворюються два потоки: чиста вода (пермеат), що проходить крізь мембрану та потрапляє у внутрішню водозбірну

трубку, і забруднена вода (концентрат), яка рухається вздовж мембрани до виходу, збагачуючись солями та іншими речовинами. Ущільнювальні кільця забезпечують герметичність системи, запобігаючи змішуванню потоків. Така конструкція дозволяє досягати високого ступеня очищення води (до 95–99%) при компактних розмірах і низьких експлуатаційних витратах. Принцип роботи базується на створенні тиску, що перевищує осмотичний, завдяки чому відбувається рух води у напрямку, протилежному природному осмосу — від концентрованого розчину до розбавленого.

Випарні апарати порівняно з теплообмінними мають меншу різноманітність конструкцій [4]. Більшість стандартних випарних апаратів є трубчастими і відрізняються взаємним розташуванням гріючої камери, сепаратора, циркуляційної труби та інших складальних одиниць та деталей. Було обрано випарний апарат з природною циркуляцією (рисунок 3.2).



1 – гріюча камера, 2 – сепаратор, 3 – циркуляційна труба

Рисунок 3.2 – Випарний апарат з природною циркуляцією

Випарний апарат з природною циркуляцією складається з трьох основних елементів — гріючої камери, сепаратора та циркуляційної труби.

Гріюча камера є головною частиною апарата, у якій відбувається передача тепла від гріючої пари до розчину через поверхню нагріву (зазвичай це трубний пучок). Рідина, що підлягає випаровуванню, рухається в трубах, де частково перетворюється на пару. За рахунок різниці густини між нагрітою (легшою) і холоднішою (щільнішою) частиною розчину виникає природна циркуляція, яка забезпечує переміщення рідини без використання насосів.

Сепаратор призначений для розділення пари та рідини після випаровування. Пари, що містять краплі рідини, потрапляють у сепаратор, де під дією відцентрових сил або змін напрямку руху краплі відокремлюються й повертаються в нижню частину апарата. У результаті з верхньої частини сепаратора виходить чиста вторинна пара, яка може бути використана для обігріву наступного корпусу випарної установки або конденсації.

Циркуляційна труба з'єднує нижню частину сепаратора з гріючою камерою та забезпечує рух рідини по контуру. Різниця густини між гарячою та холодною зонами створює циркуляційний потік, що підтримує постійне перемішування й запобігає перегріванню або локальному закипанню рідини. Завдяки цьому досягається рівномірність процесу випаровування та підвищується ефективність теплопередачі.

3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій з аналогами

Розглянемо на порівняємо 5 мембранних апаратів, які відрізняються за принципом розділення частинок і ступенем очищення для виявлення найбільш оптимального типу

Зворотний осмос забезпечує найглибше знесолення — крізь мембрану проходять лише молекули води, тоді як солі й домішки повністю затримуються, утворюючи практично чисту воду.

Нанофільтрація пропускає воду та деякі дрібні іони, але частково утримує двовалентні солі, тому застосовується для пом'якшення води або попереднього очищення перед осмосом.

Електродіаліз використовує електричне поле для переміщення іонів через іонообмінні мембрани — він ефективний для знесолення, але енерговитратний і потребує стабільного струму.

Ультрафільтрація працює за рахунок механічного просіювання: видаляє колоїди, білки, органічні сполуки, але не солі, тому часто використовується як попередній етап.

Мікрофільтрація має найбільші пори, затримує лише зважені частинки, бактерії та тверді домішки, забезпечуючи грубе очищення перед тоншими мембранними процесами.

Порівняння обраної конструкції з аналогами наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Порівняння різних типів мембранних апаратів

Параметр \ Апарат	Зворотний осмос (мій)	Нанофільтрація	Електродіаліз	Ультрафільтрація	Мікрофільтрація
Тиск, МПа	6 (3)	6 (3)	6 (3)	6 (3)	6 (3)
Температура, °C	25 (3)	25 (3)	25 (3)	25 (3)	25 (3)
Коефіцієнт розділення (–)	0,98 (5)	0,85 (4)	0,90 (4)	0,40 (2)	0,10 (1)
Продуктивність за пермеатом, кг/с	0,023 (4)	0,020 (3)	0,015 (2)	0,030 (5)	0,035 (5)
Складність експлуатації (1 - просто 5 - складно)	3 (3)	3 (3)	4 (2)	2 (4)	2 (4)
Середній бал (0–5)	4,6	3,9	3,4	3,8	3,3

Тепер розглянемо 5 апаратів і порівняємо їх параметри для ефективного випарювання розчину каустичної соди.

Апарат з природною циркуляцією — найпростіший і найнадійніший: рідина рухається завдяки різниці густини між гарячими та холодними шарами, що забезпечує рівномірне випаровування без насосів.

Апарат із примусовою циркуляцією має насос, який проганяє розчин через трубний пучок, забезпечуючи більший коефіцієнт теплопередачі й придатність для в'язких чи кристалізуючих розчинів, але зростають енерговитрати.

Плівкові випарники (висхідні або спадні) працюють із тонким шаром рідини на стінці труб: це дозволяє швидко випаровування при мінімальному перегріванні, однак такі апарати чутливі до забруднень і потребують чистих розчинів.

Короткотрубні випарники мають компакту конструкцію, але малу поверхню теплообміну, тому застосовуються для невеликих потоків.

Порівняння обраної конструкції з аналогами наведено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Порівняння різних типів випарних апаратів

Параметр \ Тип апарата	Природна циркуляція (твій)	Примусова циркуляція	Плівковий (падаючої плівки)	Плівковий (висхідний)	Короткотрубний
Продуктивність, кг/с	2,10 (5)	1,90 (4)	1,70 (3)	1,60 (3)	1,40 (2)
Температура, °С	60 (3)	60 (3)	60 (3)	60 (3)	60 (3)
Кінцева концентрація, мас. %	35 (5)	30 (4)	28 (3)	27 (3)	25 (2)
Складність експлуатації (1 - просто 5 - складно)	2 (5)	4 (3)	3 (4)	3 (4)	3 (4)
Середній бал (0–5)	4.6	3.6	3.3	3.2	2.8

3.3 Вибір матеріалів

Під час вибору матеріалів для виготовлення апарата зворотного осмосу важливо комплексно оцінювати експлуатаційні умови, до яких належать температурні впливи, внутрішні та зовнішні механічні навантаження, а також хімічна агресивність робочого середовища. Матеріал повинен забезпечувати надійність конструкції, довговічність у роботі та залишатися економічно привабливим і доступним для використання.

Для аналізу було розглянуто декілька груп матеріалів, що традиційно застосовуються у хімічному машинобудуванні: вуглецеві та нержавіючі сталі, дуплексні сталі, а також жаростійкі та корозійностійкі сплави [5]. Дуплексні сталі характеризуються підвищеною міцністю та корозійною стійкістю, однак їх вартість та складність зварювання значно ускладнюють промислове впровадження в апаратах середнього розміру. Вуглецеві сталі мають низьку собівартість і добру технологічність, проте їх корозійна стійкість у присутності концентрованих сольових та лужних розчинів є недостатньою, що істотно знижує їх придатність для роботи в умовах мембранних і випарних процесів. З іншого, боку Сталь3 чудово підійде для створення рами до якої і будуть кріпитися мембранні модулі.

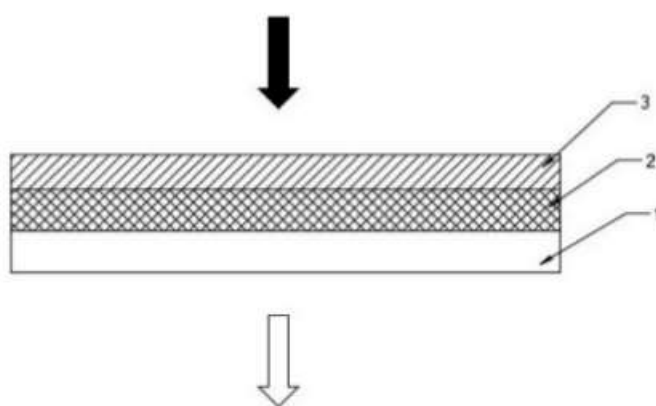
Було розглянуто і аустенітні корозійностійкі сталі марок 08X18H10, 12X18H9 та 12X18H10T, що також широко використовуються у хімічному виробництві. Кожна з них демонструє хороші антикорозійні властивості, але в результаті було обрано сталь 12X18H10T. Її відмінною особливістю є висока стійкість до корозійного середовища, здатність працювати при високих тисках та зміні температури.

Враховуючи поєднання корозійної стійкості, механічної надійності, технологічності зварювання та економічної доцільності, остаточно було прийнято рішення застосувати сталь 12X18H10T як основний матеріал для виготовлення корпусів як апарата зворотного осмосу. Для виготовлення рами мембранного апарату було прийнято рішення обрати Ст3 через її дешевизну та міцність. Потреби

обирати корозостійку немає сенсу, оскільки мембранні модулі є герметичними і при звичайних умовах роботи контакт з агресивним лужним середовищем буде відсутнім.

3.4 Патентне дослідження

Розглянемо патент CN120132623A [6], у якому запропоновано нову тришарову композитну мембрану зворотного осмосу для водоочищення, зокрема для опріснення морської води (рисунок 3.3). На відміну від типових двошарових рішень, де поліамідний сепараційний шар безпосередньо нанесений на пористу підкладку, у цій конструкції введено додатковий проміжний прошарок – гідрогель оксиду графену. Він розташований між нижнім опорним шаром і верхнім поліамідним шаром.



1 – Нижній шар; 2 – гідрогелевий шар; 3 – поліамідний шар.

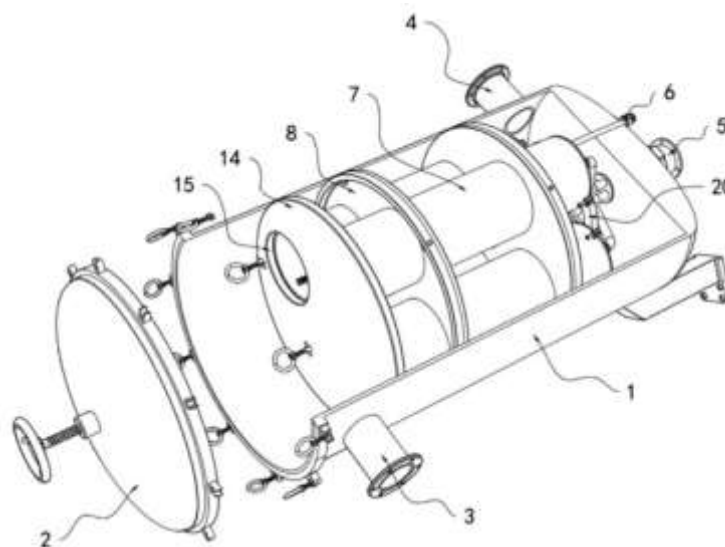
Рисунок 3.3 – Будова фільтраційної мембрани.

До ключових переваг мембрани належить підвищена стійкість до біологічного обростання завдяки наявності оксиду графену, що потенційно подовжує ресурс роботи. Зростання гідрофільності сприяє збільшенню потоку води, а отже й продуктивності. Також відзначено покращення селективності щодо солей, що підтверджено експериментальними результатами.

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 26
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

Водночас технологія має низку недоліків. Виготовлення ускладнюється через необхідність отримання оксиду графену, його перетворення на гідрогель і виконання додаткових модифікацій, що помітно підвищує собівартість. Оскільки в модифікованому методі Хуммерса згадуються гідроксид калію та інші токсичні реагенти, виробничий процес потребує посилених заходів безпеки. Крім того, експериментально встановлено, що робочі характеристики мембрани істотно залежать від концентрації гідрогелю оксиду графену.

Патент CN120132445A [7] розглядає пристрій рекуперації для концентрату, що утворюється в установках зворотного осмосу (рисунок 3.4). На відміну від традиційних схем, у яких фільтрація та очищення реалізуються як окремі операції, у цьому рішенні запропоновано об'єднати їх в межах одного апарата. Основою конструкції є багатоканальна фільтрувальна система: послідовно розміщені канали заповнені фільтрувальним матеріалом і працюють як єдиний функціональний вузол.



1. корпус бака; 2 – торцева кришка; 3 – вхідна труба; 4 – зливна труба; 5 – промивна труба; 6 – порожнина; 7 – ущільнювальне кільце; 8 – опора; 14 – вихідний отвір; 15 – головний вал; 20 - виїмка.

Рисунок 3.4 – Пристрій для рекуперації для концентрованої води зворотного осмосу.

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 27
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

До переваг пристрою належать підвищена ефективність за рахунок суміщення процесів фільтрації та очищення в одному модулі. Додатково результативність підтримується автоматичною системою самоочищення, яка скорочує простої на сервісне обслуговування. Загалом конструкція орієнтована на повну автоматизацію, що зменшує потребу в постійному контролі з боку оператора.

Водночас апарат має помітні обмеження. Складна внутрішня будова та значна кількість рухомих елементів підвищують трудомісткість виготовлення і, відповідно, його вартість. Крім того, ефективність самоочищення може суттєво знижуватися під час роботи з липкими або високов'язкими середовищами, що здатне спричиняти часті зупинки для ручного обслуговування.

Патент CN120115012A [8] описує удосконалену мембрану зворотного осмосу та спосіб її виготовлення (рисунок 3.5), спрямовані на підвищення ефективності розділення за рахунок збільшення пропускної здатності та стійкості до біозабруднення; мембрана виконана тришаровою і складається з пористої опорної мембрани, що забезпечує механічну міцність і стабільність, тонкого поліамідного розділювального шару, сформованого на опорі та модифікованого введенням лінійної полічетвертинної амонійної солі, а також антибактеріального поверхневого шару, який утворюється на розділювальному прошарку у вигляді «молекулярних щіток» з груп полічетвертинної солі.

Робота мембрани базується на застосуванні лінійної полічетвертинної амонійної солі як функціонального реагенту. Вона заповнює мікропорожнини поліамідної структури, за рахунок чого шар стає щільнішим і більш однорідним, а здатність затримувати дрібні органічні молекули підвищується. Під час промивання багатоатомним спиртом частина цієї солі мігрує на поверхню і формує антибактеріальний прошарок, при цьому суттєвого погіршення проникності не заявлено.

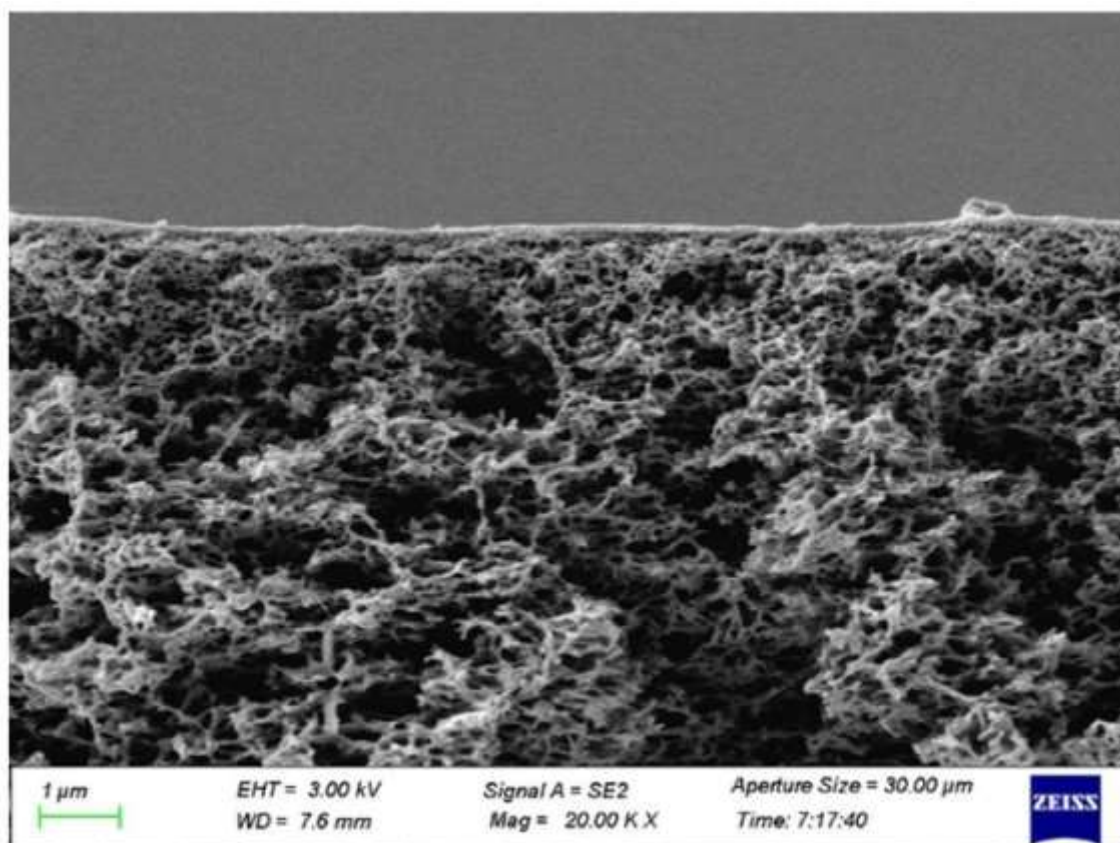


Рисунок 3.5 – Тришарова мембрана

До переваг рішення відносять високу водопроникність, що пояснюється введенням полімерної добавки та формуванням двостінних гідратаційних каналів. Окрім цього, структура розділювального шару забезпечує ефективніше вилучення малих органічних молекул, що опосередковано знижує інтенсивність біообростання – одну з типових проблем стандартних поліамідних RO-мембран.

Недоліки пов'язані насамперед із технологічною складністю: потрібен точний контроль рН і температури, а також застосування спеціалізованих реагентів, що підвищує вартість виготовлення. У процесі експлуатації/підготовки мембрани також важливо витримувати оптимальні умови (температуру, концентрації тощо), інакше робочі показники помітно погіршуються.

Розглянемо патент CN120097455A [9], у якому запропоновано «розумну» установку зворотного осмосу для одержання ультрачистої води з трьома послідовними ступенями очищення (рисунок 3.6). На кожному ступені встановлено

дві мембрани – робочу та резервну (наприклад, RO A і RO B): потік послідовно проходить через 1-й, 2-й та 3-й ступені, підвищуючи якість води на кожному етапі. У разі падіння загального потоку електромагнітні витратоміри фіксують відхилення, після чого система автоматично локалізує «проблемний» ступінь, тимчасово ізолює його для перевірки, визначає несправну мембрану та перемикає подачу на резервну без зупинки всієї установки, зберігаючи безперервність виробництва.

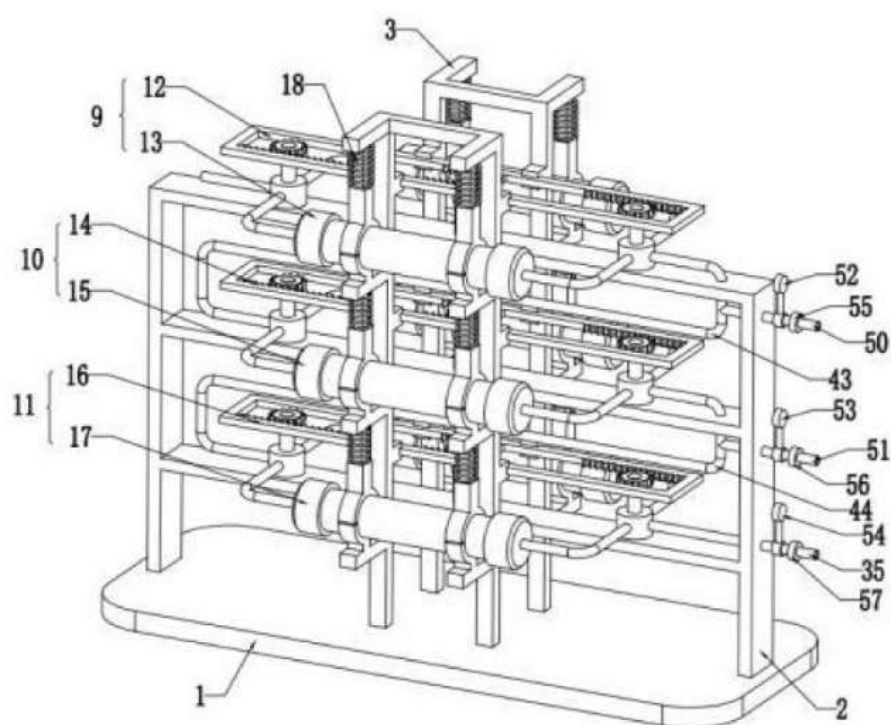


Рисунок 3.6 – Розумна установка зворотного осмосу

Серед переваг рішення варто відзначити підвищення надійності роботи завдяки дублюванню мембран на кожному ступені та автоматичному перемиканню потоку: при відмові однієї мембрани установка продовжує працювати без простоїв і без втрати загальної працездатності лінії. Додатково ефективність експлуатації підсилюється встановленням електромагнітних витратомірів між ступенями, що дозволяє оперативно ідентифікувати ділянку, де виникло падіння продуктивності, та не витратити час на «сліпу» діагностику всієї системи. Окремою перевагою є зниження витрат на сервіс: система орієнтована на виявлення та заміну лише тієї

мембрани, яка вийшла з ладу, замість комплексного обслуговування або зупинки всього каскаду.

До недоліків належить підвищена конструктивна складність, оскільки реалізація перемикання між робочою та резервною мембранами потребує додаткових механічних вузлів і точного узгодження їхньої роботи, що ускладнює виготовлення та експлуатацію. Крім того, розширена система автоматизації (датчики, витратоміри, приводи, клапани) збільшує кількість потенційних точок відмови: за наявності великої кількості виконавчих механізмів зростають ризики механічних/електричних збоїв, які можуть спричинити некоректне перемикання або навіть зупинку всієї установки при відмові критичного елемента керування.

Патент CN120081570A [10] описує пристрій для опріснення морської води (рисунок 3.7), у якому мембранний елемент отримують шляхом формування багат шарової структури методом міжфазної полімеризації. Як основа застосовується пористий носій з графенового гідрогелю, що після фотокаталітичної обробки набуває тривимірної сітчастої будови з високою проникністю. Далі носій поетапно контактує з водним розчином *m*-фенілендіаміну та органічним розчином тримезоїлхлориду (TMC), а на межі розділу фаз відбувається полімеризація з утворенням тонкої поліамідної плівки – селективного шару. Завершують виготовлення операціями промивання, сушіння, термообробки та нанесення нанопокриття, що зменшує шорсткість і підвищує гідрофільність поверхні, завдяки чому очікувано зростають продуктивність, стійкість до забруднення та ресурс мембрани.

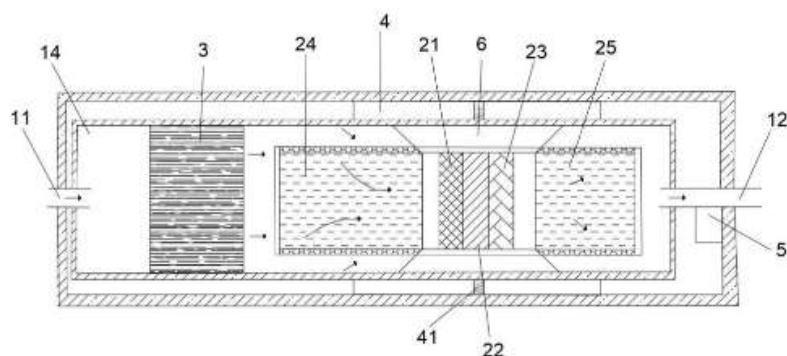


Рисунок 3.7 – Пристрій опріснення морської води

Серед переваг рішення відзначається високий заявлений рівень опріснення (до 99,9%) у поєднанні з суттєвим відновленням прісної води (порядку 80%), що свідчить про орієнтацію на ефективну роботу саме в умовах морської води. Поверхнева модифікація забезпечує хороше змочування мембрани, що зазвичай проявляється у підвищенні потоку та потенційному зниженні енерговитрат на продавлювання через селективний шар. Додатково поєднання меншої шорсткості та високої гідрофільності ускладнює адгезію органічних і біологічних домішок, тобто працює як фактор зменшення фолінгу та стабілізації характеристик у часі.

До недоліків належить технологічна складність: виготовлення на базі міжфазної полімеризації з використанням графенового гідрогелю та подальшою багатостадійною поверхневою модифікацією є трудомістким процесом, який важко й дорого масштабувати до промислових обсягів. Окрім цього, високоселективна й «тонко налаштована» мембранна поверхня може виявитися чутливою до наявності дрібних нерозчинних частинок: за недостатньої попередньої підготовки дуже забрудненої води швидке забивання/абразивне навантаження здатні помітно знизити проникність і загальну ефективність.

Висновок: проаналізовані патенти у сфері зворотного осмосу та фільтрації показують два ключові вектори розвитку – хімічне вдосконалення мембран і підвищення рівня автоматизації утилізаційних процесів. Сучасні мембрани модифікують шляхом введення функціональних полімерів і активних шарів, що дає змогу одночасно збільшити водопроникність, підвищити селективність та забезпечити антибактеріальний ефект, зменшуючи схильність до біообростання. Одночасно поширюються інтелектуальні рішення для безперервної роботи з концентратом, у яких застосовують багатоступеневу фільтрацію, автоматичну діагностику та режими самоочищення для скорочення простоїв і стабілізації якості очищення.

Перейдемо до розгляду патентів випарних апаратів.

Розглянемо патент CN120324925A [11], у якому наведено конструкцію плівкового випарника з удосконаленим розподільником (рисунок 3.8). Основна

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 32
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

ідея рішення – забезпечити рівномірне та стабільне формування рідинної плівки на внутрішній поверхні теплообмінних труб, оскільки саме якість плівкоутворення напряму визначає інтенсивність тепло- і масообміну та ефективність випаровування.

Випарник виконано у вигляді трьох функціональних зон. У верхній частині розташована секція подачі (10) з підводом рідини (11) та підводом пари (12). Далі йде секція нагріву (20), яка містить пучок випарних труб (21), всередині яких встановлено розподільник (22). У нижній частині розміщена секція розділення (30), призначена для відокремлення вторинної пари від концентрованої рідкої фази. У процесі роботи рідина подається в спіральну головку розподільника; за рахунок обертання та дії відцентрової сили вона рівномірно розтягується по стінці труби у вигляді тонкої плівки. Одночасно гаряча пара рухається вниз у тому ж напрямку і додатково «підпирає» плівку, стабілізуючи її та зменшуючи ризик локальних розривів.

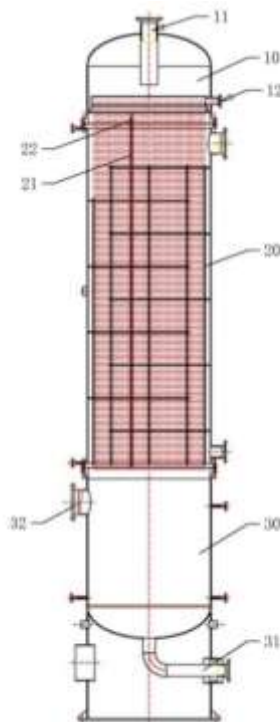


Рисунок 3.8 – Плівковий випарник та його розподільник

Серед переваг винаходу відзначається формування більш рівномірної плівки завдяки використанню відцентрової дії, що підвищує стабільність змочування внутрішньої поверхні труб і вирівнює теплове навантаження по периметру. Співнапрямний рух пари та рідини додатково інтенсифікує випаровування й сприяє утриманню суцільної плівки, що позитивно впливає на стійкість режиму та прогнозованість продуктивності.

До недоліків слід віднести ускладнену конструкцію розподільника, зумовлену наявністю значної кількості рухомих елементів, що підвищує вартість виготовлення та потенційні вимоги до обслуговування. Також робота апарата суттєво залежить від стабільності подачі пари: при коливаннях її витрати або параметрів можливе погіршення умов плівкоутворення та порушення безперервності процесу.

Патент CN120393469A [12] описує випарник для безперервного нагріву полімерного розплаву та дегазації легких компонентів (рисунок 3.9), який застосовують у виробництві полімерів для видалення залишкових мономерів і розчинників. Апарат включає кожухотрубний нагрівач, де матеріал розплавляється та підігрівається, і основний корпус випарника, під'єднаний до вакуумної системи. У середині корпусу встановлено багатоярусні гратчасті пластини з отворами, причому щільність перфорації зменшується від верхніх ярусів до нижніх, що впливає на режим стікання та розподілу розплаву.

Під час роботи розплавлений полімер проходить каскадом по гратчастих пластинах, утворюючи тонкі плівки та багаторазово оновлюючи вільну поверхню, що під вакуумом інтенсифікує випаровування і відведення летких домішок. Очищений полімер збирається в нижній частині корпусу та відводиться на подальшу переробку. Багатоярусна організація руху забезпечує збільшений час перебування розплаву в апараті і підвищує ступінь дегазації без необхідності різко нарощувати підведення енергії.

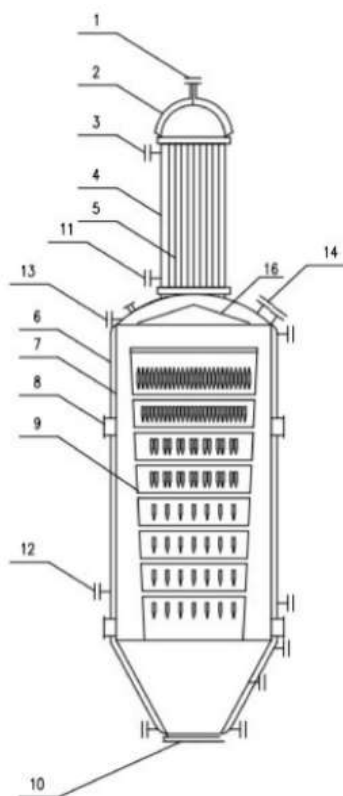


Рисунок 3.9 – Випарник для безперервного нагріву полімерного розплаву та видалення легких компонентів

Серед переваг рішення – зростання ефективності видалення летких компонентів завдяки ґратчастим пластинам, які збільшують площу контакту та сприяють формуванню тонкої плівки, придатної для інтенсивного масообміну у вакуумі. Крім того, ґратчаста система покращує розподіл полімеру по перерізу апарата, зменшуючи ймовірність «мертвих зон» і локальних застоїв, що позитивно впливає на стабільність якості очищення.

До недоліків належить конструктивна складність: багаторусний пакет пластин і вимоги до герметичності при вакуумній роботі ускладнюють виготовлення та монтаж, а також підвищують вимоги до точності складання. Як наслідок, вартість апарата та витрати на встановлення, як правило, будуть вищими порівняно з простішими аналогами.

Патент CN119733255A [13] описує інтелектуальний пристрій розподілу рідини у плівковому випарнику (рисунок 3.10), спрямований на усунення типової проблеми нерівномірної подачі сировини по випарних трубах. У традиційних

плівкових апаратах розподіл часто базується на гравітації або простих розподільчих тарілках, тому при нестабільній витраті на вході частина труб отримує надлишок рідини (формується товста плівка й падає інтенсивність теплообміну), а частина – дефіцит (плівка розривається/висихає, виникає локальний перегрів і накипоутворення).

Конструктивно рішення виконане як багатоступенева система в корпусі випарника з трьох послідовних блоків. На першому етапі рідина потрапляє в первинний розподільний піддон, де формується вирівняний шар і згладжуються коливання подачі, після чого потік проходить через отвори на наступний рівень. Далі рідина надходить у підсилювальний блок, де насос зі змінною частотою підвищує тиск і робить подальший розподіл більш стабільним та керованим. Ключовим є інтелектуальний блок розподілу: рідина під тиском накопичується в піддоні й через мережу трубопроводів із витратомірами та регулювальними клапанами подається до окремих випарних труб; ПІД-регулювання безперервно змінює відкриття клапанів за сигналами витратомірів, підтримуючи задану подачу в кожну трубу та забезпечуючи рівномірне плівкоутворення.

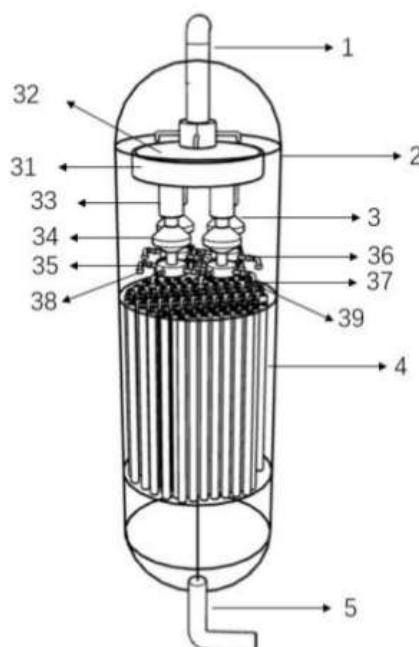


Рисунок 3.10 – Плівковий випарник з інтелектуальним пристроєм для розподілення

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 36
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

Серед переваг пристрою – можливість автоматично коригувати витрати по трубах у реальному часі без зупинки апарата, що підвищує стабільність режиму випаровування. Первинний та підсилювальний блоки виконують роль демпфера коливань, тому система менш чутлива до нестабільного вхідного потоку. Окреме дозування по кожній трубі дозволяє уникати як «переливу» (надмірної товщини плівки), так і «висушування» (розриву плівки), що зменшує ризики перегріву та відкладень.

До недоліків належить висока вартість реалізації через необхідність значної кількості вимірювальних і керувальних елементів (датчики, витратоміри, клапани, контролери) та ускладнення монтажу/наладки. Додатково електроніка потребує захисту від агресивних середовищ і забруднень: наявність дрібних частинок у рідині, можливе засмічення імпульсних ліній або кристалізація/відкладення на елементах вимірювання здатні знижувати точність сигналів, погіршувати роботу ПІД-контролю і, як наслідок, зменшувати ефективність автоматичного регулювання.

Патент CN120550425A [14] описує плівковий випарний апарат із посиленою тепловіддачею (рисунок 3.11), робота якого базується на стабільному формуванні рівномірної рідинної плівки по всій поверхні теплообмінних труб. Конструкція включає корпус із вузлом подачі рідини, рідинороздільник та теплообмінний блок. Рідинороздільник має нижню перфоровану пластину, отвори якої розміщені так, щоб забезпечити рівномірний розподіл рідини між усіма трубами незалежно від їхнього положення, що підтримує однакове змочування і зменшує ризик локального перегріву. На запуску перемикаюча пластина тимчасово перекриває отвори, даючи змогу рідині накопичитися та вирівняти тиск, після чого поплавковий механізм забезпечує швидке одночасне відкриття і подачу рідини в усі трубки. У робочому режимі товщину плівки регулюють за допомогою рухомої пластини потоку, положення якої змінюється мотором з черв'ячною передачею, що дозволяє керувати витратою та підтримувати оптимальний тепловий режим.

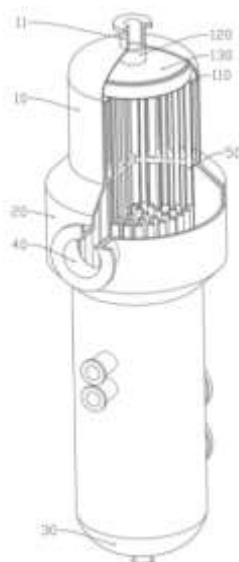


Рисунок 3.11 – Плівковий випарник з посиленою теплопередачею

Серед переваг винаходу варто відзначити конструкцію рідинороздільника, яка вирівнює гідравлічні умови підведення – фактично забезпечує однаковий “шлях” рідини до кожної теплообмінної труби, завдяки чому розподіл стає стабільнішим по всьому пучку. Режим запуску з накопиченням рідини та одночасним відкриттям подачі знижує ризик «сухого» прогріву і сприяє швидкому формуванню суцільної плівки в трубах. Додатково моторизована регульовальна пластина дає можливість оперативно змінювати товщину плівки через керування витратою, тобто підлаштовувати режим під властивості продукту та теплове навантаження.

До недоліків належить ускладнення конструкції через введення перемикаючої пластини, поплавкового вузла та моторизованого механізму з передачею, що збільшує кількість рухомих елементів і потенційних точок відмови. Це може підвищувати вимоги до технічного обслуговування, точності налаштувань і, за потреби, змусити застосовувати додаткові сенсори/датчики для контролю положення вузлів, витрати та стабільності плівкоутворення..

Патент CN120532148A [15] описує багатоступеневий «інтелектуальний» плівковий випарник (рисунок 3.12), який є модернізованою версією вертикального випарника з реалізацією послідовного розподілу рідини вздовж теплообмінних труб. Рідина подається зверху з вежевого блока і далі розподіляється по секціях,

тоді як теплоносії (пара) нагріває труби зовні. На відміну від стандартних рішень з одним розподільником у верхній частині, в даній конструкції встановлено кілька розподільників на різних висотних рівнях, що дозволяє підтримувати контроль плівкоутворення по всій довжині трубного пучка.

Кожен розподільник містить накопичувальну камеру, датчик рівня та насос зі змінною частотою, робота якого коригується PID-контролером за сигналами температури й тиску. Така логіка керування забезпечує автоматичне дозування рідини в кожную секцію, компенсуючи коливання подачі та зміни режиму теплообміну, а також знижує ризики локального перегріву й інтенсивного накипоутворення. У результаті товщина рідинної плівки підтримується більш сталою по висоті труб, що сприяє стабільній теплопередачі, рівномірному випаровуванню та підвищенню енергоефективності процесу.

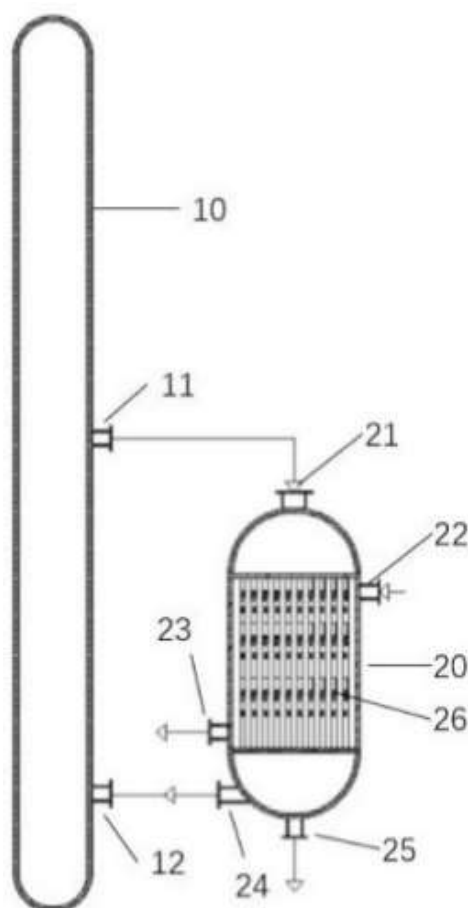


Рисунок 3.12 – Багатоступеневий інтелектуальний плівковий випарник

Серед переваг випарника відзначається усунення характерної для традиційних систем проблеми нерівномірного розподілу рідини по трубах за рахунок багаторівневого секційного дозування. Важливою перевагою є on-line керування, коли подача автоматично адаптується до фактичних параметрів у апараті (температури та тиску), що підвищує стабільність режиму і зменшує залежність від ручного налаштування. Додатково система знижує ймовірність «сухого нагріву», підтримуючи змочування поверхні труб і тим самим покращуючи безперервність та надійність роботи.

До недоліків належить надмірна конструктивна та експлуатаційна складність: велика кількість насосів, датчиків рівня, приладів контролю (манометри, термометри), а також розпилювачів підвищує вартість виготовлення, монтажу й обслуговування та збільшує кількість потенційних точок відмови. На практиці це може вимагати більшої уваги персоналу й розширення функцій обслуговування (інколи – залучення кількох операторів для контролю вузлів). Окремим обмеженням є схильність розпилювачів до швидкого забивання при підвищеному вмісті твердих фракцій у рідині, що підвищує вимоги до попередньої підготовки сировини та регулярної промивки.

Висновок: Патенти випарних апаратів, концентруються на досягненні максимальної стабільності та рівномірності рідинної плівки як ключової умови високої теплопередачі та мінімізації накипу. Сучасні рішення умовно зводяться до двох напрямів: перший – механічне формування плівки за допомогою обертових (спіральних) розподільчих елементів у поєднанні зі співнапрямним керованим потоком пари, який стабілізує плівку; другий – автоматизовані системи на базі ПІД-контролю. Обидва підходи відходять від простого гравітаційного розподілу та ручного налаштування, орієнтуючись на безперервну роботу, стабільні показники і зменшену залежність процесу від оператора..

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

4.1 Розрахунок апарата зворотного осмосу

4.1.1 Параметричний розрахунок

Метою параметричного розрахунку апарата зворотного осмосу є визначення площі поверхні мембрани, головних розмірів апарата та його гідравлічного опору.

На рисунку 4.1 зображено розрахункову схему

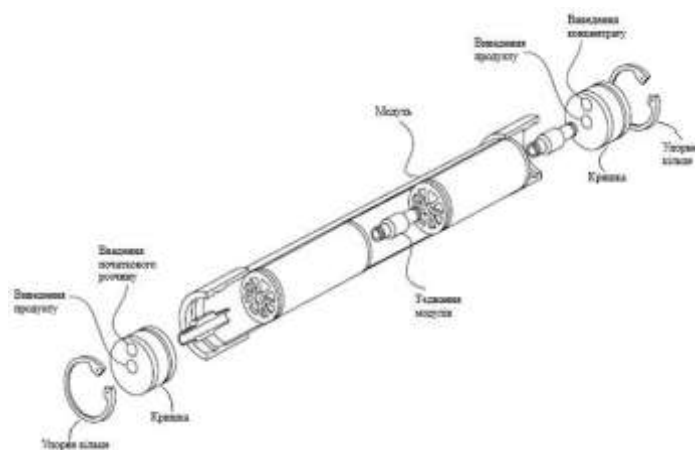


Рисунок 4.1 – Схема спірального модуля

Вхідні дані

Матеріал, що концентрується:	NaCl;
Продуктивність L_f , кг/с	5;
Початкова концентрація x_{1f} , мас. %	0,8;
Робочий тиск Δp , МПа	6;
Максимально допустимі втрати солі $[g_{cp}]$, %	4;
Температура розчину t , °C	25;
Матеріал мембрани	ацетат целюлози;
Тип апарата	спіральний;

Розрахунок проведено за методикою [16]

Приймаємо кінцеву концентрацію в ретентаті такою, що дорівнює 0,34 моль/(л розчинника), за таблицею Б.1 додатка Б знаходимо значення в масових відсотках $x_{1f} = 2,994$ мас. %

Розраховуємо ступінь концентрування:

$$K = \frac{x_{1r}}{x_{1f}} = \frac{2,994}{0,8} = 2,15,$$

Для визначення селективності запишемо рівняння електролітичної дисоціації NaCl:



З таблиці А.1 додатку А знаходимо значення теплоти гідратації іону кальцію та нітрат-іону:

$$\Delta H_{\text{Na}^+} = 423 \text{ кДж/кмоль.}$$

$$\Delta H_{\text{Cl}^-} = 352 \text{ кДж/кмоль.}$$

Теплота гідратації нітрат-іону менша за теплоту гідратацію іону кальцію, тому $Z_m = 1$.

Середнє геометричне значення теплот гідратації іонів становить:

$$\Delta H_{cr} = \sqrt[2]{\Delta H_{\text{Na}^+} \cdot \Delta H_{\text{Cl}^-}} = \sqrt[2]{148896} = 385,87 \text{ кДж/кмоль.}$$

Спершу розглянемо найбільш селективну мембрану МГА-95 (значення коефіцієнтів $a = 3,47$ та $b = 1,844$) і проводимо перевірку її селективності.

Визначаємо характеристичний коефіцієнт розділення:

$$R_{int} = 1 - 10^{a-b \cdot \log\left(\frac{\Delta H_{cr}}{Z_m}\right)} = 1 - 10^{3,47-1,844 \cdot \log(385,87/1)} = 0,95.$$

В першому наближенні, вважаючи, що спостережуваний коефіцієнт розділення дорівнює характеристичному, розраховуємо середню концентрацію солі в пермеаті:

$$x_2 = x_{1f} \cdot \frac{1-K^{\frac{R_{int}-1}{R_{int}}}}{1-K^{\frac{-1}{R_{int}}}} = 0,8 \cdot \frac{1-2,15^{\frac{0,95-1}{0,95}}}{1-2,15^{\frac{-1}{0,95}}} = 0,057 \text{ мас. \%}$$

Витрати пермеату:

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 42
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

$$L_p = L_f \cdot \left(1 - K^{\frac{-1}{R_{\text{int}}}}\right) = 5 \cdot \left(1 - 2,15^{\frac{-1}{0,95}}\right) = 2,767 \text{ кг/с.}$$

Витрати солі з сировиною:

$$G_{c1f} = L_f \cdot \frac{x_{1f}}{100} = 5 \cdot \frac{0,8}{100} = 0,04 \text{ кг/с.}$$

Витрати солі з пермеатом:

$$G_{cp} = L_p \cdot \frac{x_2}{100} = 2,767 \cdot \frac{0,057}{100} = 1,58562 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с.}$$

Виграти солі з пермеатом, виражені у відсотках від її вмісту у початковому розчині:

$$g_{cp} = \frac{G_{cp}}{G_{c1f}} \cdot 100\% = \frac{1,58562 \cdot 10^{-3}}{0,04} \cdot 100\% = 4\%.$$

Таке значення задовольняє вимогам до селективності мембрани, тому подальші розрахунки проводимо для мембрани МГА-95. Продуктивність даної мембрани за чистим розчинником становить $G_0 = 0,0023 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$.

Проводимо наближений розрахунок площі поверхні мембрани.

За концентраціями в розділюваному розчині та ретантаті за даними, наведеними в додатку Б вибираються значення осмотичних тисків

$$\pi_{1f} = 0,63 \text{ МПа та } \pi_{1r} = 1,8 \text{ МПа.}$$

Питома продуктивність на вході та виході з апарату:

$$G_0 = 0,0023 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)},$$

$$G_f = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\pi_{1f}}{\Delta p}\right) = 0,0023 \cdot \left(1 - \frac{0,63}{6}\right) = 2,059 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)},$$

$$G_r = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\pi_{1r}}{\Delta p}\right) = 0,0023 \cdot \left(1 - \frac{1,8}{6}\right) = 1,61 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)},$$

Середнє значення питомої продуктивності:

$$G = \frac{G_f + G_r}{2} = \frac{2,059 \cdot 10^{-3} + 1,61 \cdot 10^{-3}}{2} = 1,834 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)},$$

Наближене значення площі поверхні мембрани:

$$F = \frac{L_p}{G} = \frac{2,767}{1,834 \cdot 10^{-3}} = 1,508 \times 10^3 \text{ м}^2.$$

Витрати ретентату:

$$L_r = L_f - L_p = 5 - 2,767 = 2,233 \text{ кг/с.}$$

Визначне наближене значення площі поверхні мембрани $F = 1508 \text{ м}^2$ та витрата ретантату $L_r = 2,233 \text{ кг/с}$ дозволить вибрати апарат та визначити параметри масообміну в процесі мембранного розділення.

Для визначення площі кількості апаратів в схемі виберемо такі значення параметрів (всі значення лінійних розмірів в будуть наведені в метрах):

робоча висота модуля, м, l_m ,	1
кількість сумісно навитих елементів, n_e ,	4
кількість модулів в одному апаратів, n_m ,	3
товщина сітки-сепаратора, м, δ_c ,	$0,5 \cdot 10^{-3}$
товщина дркнажного матеріалу, м, δ_d ,	$0,2 \cdot 10^{-3}$
товщина підкладного матеріалу, м, δ_1 ,	$0,1 \cdot 10^{-3}$
товщина мембрани, м, δ_2 ,	$0,1 \cdot 10^{-3}$
довжина мембранного пакету, м, l_p ,	1

Товщина мембранного пакету:

$$\delta_p = \delta_d + 2 \cdot \delta_1 + 2 \cdot \delta_2 = 0,2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4} = 6 \times 10^{-4} \text{ м.}$$

Площа поверхні мембрани в одному елементі:

$$F_e = 2 \cdot l_p \cdot l_m = 2 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \text{ м}^2.$$

Площа робочої поверхні мембран в одному модулі:

$$F_m = n_m \cdot F_e = 4 \cdot 2 = 8 \text{ м}^2.$$

Площа робочої поверхні мембран в одному апараті:

$$F_a = n_m \cdot F_m = 3 \cdot 8 = 24 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу апарата, по якому проходить розчин, що розділяється:

$$S_1 = n_e \cdot l_p \cdot \delta_c = 4 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу апарата, зайнята пакетами мембран:

$$S_2 = n_e \cdot l_p \cdot \delta_p = 4 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу апарату з урахуванням запасу на конструктивні елементи:

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 44
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

$$S_A = 1,1 \cdot (S_1 + S_2) = 1,1 \cdot (2 \cdot 10^{-3} + 2,4 \cdot 10^{-3}) = 4,84 \times 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Внутрішній діаметр апарату:

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \cdot S_A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,84 \times 10^{-3}}{\pi}} = 0,079 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр апарата: 0,1 м.

Загальна кількість апаратів у мембранній установці

$$n = \frac{F}{F_a} = 83,795.$$

Приймаємо загальну кількість апаратів 84.

Апарати необхідно раціонально розподілити в установці, для чого проводимо процедуру секціювання.

Витрата пермеату в одному апараті становить:

$$L_{pa} = G \cdot F_a = 1,834 \cdot 10^{-3} \cdot 24 = 0,033 \text{ кг/с.}$$

За таблицею 1.2 визначаємо величину припустимого зменшення витрат, для значення ступеня концентрування $K=2,15$ приймаємо значення $q = 1,2$. Тоді кількість апаратів в одній секції становитиме:

$$n_1 = \frac{L_f \cdot \left(1 - \frac{1}{q}\right)}{L_{pa}} = \frac{5 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,2}\right)}{0,033} = 25,24.$$

Приймаємо $n_1 = 26$.

Надалі розраховуємо кількість апаратів в наступних секціях та сумарну кількість апаратів в секціях:

$$n_2 = \frac{n_1}{q^{2-1}} = 21,667$$

$$\sum_2 n_i = 26 + 22 = 52$$

$$n_3 = \frac{n_1}{q^{3-1}} = 18,056$$

$$\sum_3 n_i = 18 \quad n_1 + n_2 + n_3 = 66$$

$$n_4 = \frac{n_1}{q^{4-1}} = 15,046$$

$$\sum_4 n_i = 15 \quad n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = 81$$

При використанні чотирьох секцій в секціях не вистачає трьох апаратів. Ці апарати доцільно додати до трьох перших секцій. Тоді розподіл апаратів по секціях буде таким (таблиця 4.1):

Таблиця 4.1 – Розподіл апаратів по секціях

№	1	2	3	4	$\sum_4 n_i$
n	28	23	18	15	84

Отже кількість апаратів в секціях дорівнює необхідній кількості апаратів.

Надалі необхідно визначити спотережуваний коефіцієнт розділення. Для цього розраховуються параметри масообміну в мембранному апараті.

За таблицею додатка Б знаходимо фізичні властивості розчину:

$$\rho_{1f} = 1002,6 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{1r} = 1012,6 \text{ кг/м}^3;$$

$$\nu_{1f} = 9,02 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\nu_{1r} = 9,14 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$D_{1f} = 1,48 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$D_{1r} = 1,475 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Визначається критерій Шмідта на вході і на виході в установку:

$$Sc_{1f} = \frac{\nu_{1f}}{D_{1f}} = \frac{9,02 \cdot 10^{-7}}{1,48 \cdot 10^{-9}} = 609,5,$$

$$Sc_{1r} = \frac{\nu_{1r}}{D_{1r}} = \frac{9,14 \cdot 10^{-7}}{1,475 \cdot 10^{-9}} = 619,7.$$

Еквівалентний діаметр:

$$d_e = 2 \cdot \delta_c = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Швидкість руху розчину в каналах модуля
в першій секції:

$$w_{1f} = \frac{L_f}{\rho_{1f} \cdot S_1 \cdot n_1} = \frac{5}{1002,6 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 26} = 0,089 \text{ м/с},$$

в останній секції:

$$w_{1r} = \frac{L_r}{\rho_{1r} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 3} = 0,368 \text{ м/с},$$

Критерій Рейнольдса:

в першій секції:

$$Re_{1f} = \frac{w_{1f} \cdot d_e}{\nu_{1f}} = \frac{0,089 \cdot 10^{-3}}{9,02 \cdot 10^{-7}} = 98,73,$$

в останній секції:

$$Re_{1r} = \frac{w_{1r} \cdot d_e}{\nu_{1r}} = \frac{0,368 \cdot 10^{-3}}{9,14 \cdot 10^{-7}} = 402,2.$$

Швидкість руху розчину в напрямку мембрани:

в першій секції:

$$U_{1f} = \frac{G_f}{\rho_{1f}} = \frac{2,059 \cdot 10^{-3}}{1002,6} = 2,053 \times 10^{-6} \text{ м/с},$$

в останній секції:

$$U_{1r} = \frac{G_r}{\rho_{1r}} = \frac{1,61 \cdot 10^{-3}}{1012,6} = 1,59 \times 10^{-6} \text{ м/с}.$$

Критерій Пекле:

в першій секції:

$$Pe_{1f} = \frac{U_{1f} \cdot d_e}{D_{1f}} = \frac{2,053 \times 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{1,48 \cdot 10^{-9}} = 1,387,$$

в останній секції:

$$Pe_{1r} = \frac{U_{1r} \cdot d_e}{D_{1r}} = \frac{1,59 \times 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{1,475 \cdot 10^{-9}} = 1,078.$$

Перевіряємо умову застосування рівняння (2.41):

в першій секції:

$$Re_{1f} \cdot Sc_{1f} \cdot \frac{d_e}{l_p} = 1,387 \cdot 609,5 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1} = 60,17,$$

в останній секції:

$$Re_{1r} \cdot Sc_{1r} \cdot \frac{d_e}{l_p} = 1,078 \cdot 619,7 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1} = 249,2,$$

Умова в першій секції не виконується, а в останній виконується.

Розрахуємо безрозмірний комплекс для першої секції:

$$\xi_{1f} = \frac{4 \cdot Pe_{1f}^2 \cdot U_{1f} \cdot l_p}{3 \cdot w_{1f} \cdot d_e} = \frac{4 \cdot 60,172^2 \cdot 2,053 \times 10^{-6} \cdot 1}{3 \cdot 0,089 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,059.$$

В такому випадку критерій Шервуда рахується за формулою:

$$Sh_{1f} = \frac{4 \cdot Pe_{1f}}{\ln \left(\xi_{1f} + 6 + 5 \cdot e^{-\sqrt{\frac{\xi_{1f}}{3}}} \right)} = \frac{4 \cdot 60,172}{\ln \left(0,059 + 6 + 5 \cdot e^{-\sqrt{\frac{0,059}{3}}} \right)} = 2,369.$$

Визначаємо критерій Шервуда в останній секції:

$$Sh_{1r} = 1,67 \cdot Re_{1r}^{0,34} \cdot Sc_{1r}^{0,33} \cdot \left(\frac{d_e}{l_p} \right)^{0,33} = 1,67 \cdot 1,078^{0,34} \cdot 619,661^{0,33} \cdot \left(\frac{1 \cdot 10^{-3}}{1} \right)^{0,33} = 10,9.$$

Визначаємо коефіцієнт масопередачі

в першій секції:

$$\beta_{1f} = \frac{Sh_{1f} \cdot D_{1f}}{d_e} = \frac{2,369 \cdot 1,48 \cdot 10^{-9}}{1 \cdot 10^{-3}} = 3,506 \times 10^{-6} \text{ м/с.}$$

в останній секції:

$$\beta_{1r} = \frac{Sh_{1r} \cdot D_{1r}}{d_e} = \frac{10,956 \cdot 1,475 \cdot 10^{-9}}{1 \cdot 10^{-3}} = 1,616 \times 10^{-5} \text{ м/с.}$$

Розраховуємо комплекс:

в першій секції:

$$x_{1f} = \frac{U_{1f}}{2,3 \cdot \beta_{1f}} + \log \left(\frac{1 - R_{int}}{R_{int}} \right) = \frac{2,053 \times 10^{-6}}{2,3 \cdot 3,506 \times 10^{-6}} + \log \left(\frac{1 - 0,95}{0,95} \right) = -1,022,$$

в останній секції:

$$x_{1r} = \frac{U_{1r}}{2,3 \cdot \beta_{1r}} + \log \left(\frac{1 - R_{int}}{R_{int}} \right) = \frac{1,59 \times 10^{-6}}{2,3 \cdot 1,616 \times 10^{-5}} + \log \left(\frac{1 - 0,95}{0,95} \right) = -1,234.$$

Спостережувальний коефіцієнт розділення:

в першій секції:

$$R_{1f} = \frac{1}{10^{x_{1f} + 1}} = \frac{1}{10^{-1,022 + 1}} = 0,913,$$

в останній секції:

$$R_{1r} = \frac{1}{10^{x_{1r} + 1}} = \frac{1}{10^{-1,234 + 1}} = 0,945.$$

Середнє значення спостережуваного коефіцієнта розділення:

$$R = \frac{R_{1f} + R_{1r}}{2} = \frac{0,913 + 0,945}{2} = 0,929$$

Концентрація солі у пермеаті:

$$x_2 = x_{1f} \cdot \frac{1 - K^{\frac{R-1}{R}}}{1 - K^{\frac{-1}{R}}} = -1,022 \cdot \frac{1 - 2,15^{\frac{0,929-1}{0,929}}}{1 - 2,15^{\frac{-1}{0,929}}} = 0,081 \text{ мас. \%}.$$

Витрата пермеату:

$$L_p = L_f \cdot \left(1 - K^{\frac{-1}{R}}\right) = 5 \cdot \left(1 - 2,15^{\frac{-1}{0,929}}\right) = 2,806.$$

Витрата солі з пермеатом (значення концентрації підставляємо в масових частках):

$$G_{cp} = L_p \cdot \frac{x_2}{100} = 2,806 \cdot \frac{0,081}{100} = 2,27 \times 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

Витрати солі з пермеатом, виражені у відсотках від її вмісту у початковому розчині, %:

$$g_{cp} = \frac{G_{cp}}{G_{c1f}} \cdot 100\% = \frac{1,58562 \cdot 10^{-3}}{0,04} \cdot 100\% = 5,7\%.$$

Отримане значення не перевищує допустиме (8,2%) отже вибрана мембрана задовольняє умову задовільної селективності і перерахунок робити не потрібно.

Проводимо уточнений розрахунок площі поверхні мембрани:

Концентрація солі в пермеаті:

в першій секції:

$$x_{2f} = (1 - R) \cdot x_{1f} = (1 - 0,929) \cdot (-1,022) = 0,057 \text{ мас. \%}.$$

в останній секції:

$$x_{2r} = (1 - R) \cdot x_{1r} = (1 - 0,929) \cdot (-1,234) = 0,122 \text{ мас. \%}.$$

Концентрація солі біля поверхні мембрани з боку розчину, що розділяється:
в першій секції:

$$x_{3f} = \frac{x_{2f}}{1 - R_{int}} = \frac{0,057}{1 - 0,95} = 1,13 \text{ мас. \%}.$$

в останній секції:

$$x_{3r} = \frac{x_{2r}}{1 - R_{int}} = \frac{0,122}{1 - 0,95} = 2,43 \text{ мас. \%}.$$

Для цих значень концентрації за даними додатку Б визначаємо осмотичні тиски:

$$\pi_{2f} = 0,045 \text{ МПа};$$

$$\pi_{2r} = 0,1 \text{ МПа};$$

$$\pi_{3f} = 0,9 \text{ МПа};$$

$$\pi_{3r} = 1,93 \text{ МПа}.$$

Питома продуктивність мембрани за розділюваним розчином: в першій секції:

$$G_f = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\pi_{3f} - \pi_{2f}}{\Delta p}\right) = 0,0023 \cdot \left(1 - \frac{0,9 - 0,045}{6}\right) = 1,972 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

в останній секції:

$$G_r = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\pi_{3r} - \pi_{2r}}{\Delta p}\right) = 0,0023 \cdot \left(1 - \frac{1,93 - 0,1}{6}\right) = 1,599 \times 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Константи системи:

в першій секції:

$$C_f = \frac{G_0 - G_f}{x_{1f}} = \frac{0,0023 - 1,972 \times 10^{-3}}{-1,022} = 4,097 \times 10^{-4} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

в останній секції:

$$C_r = \frac{G_0 - G_r}{x_{1r}} = \frac{0,0023 - 1,599 \times 10^{-3}}{-1,234} = 4,078 \times 10^{-4} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Розбіжність між значенням констант:

$$\frac{|C_f - C_r|}{C_r} = \frac{|4,097 \times 10^{-4} - 4,078 \times 10^{-4}|}{4,078 \times 10^{-4}} = 4,508 \times 10^{-3} < 0,2$$

Оскільки значення констант відрізняються менш, ніж на 25%, то припущення щодо лінійної залежності питомої продуктивності мембрани від концентрації підтверджується. В такому разі, враховуючи, що спостережуваний коефіцієнт розділення $R = 0,952 > 0,9$, площу поверхні мембрани розраховуємо за формулою (2.65).

При розрахунках за цією формулою використовуємо середнє арифметичне значення константи системи:

$$C = \frac{C_r + C_f}{2} = \frac{4,078 \times 10^{-4} + 4,097 \times 10^{-4}}{2} = 4,088 \times 10^{-4} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Тоді площа необхідна поверхні мембран становитиме:

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 50
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

$$\begin{aligned}
F &= \frac{L_f \cdot x_{1f}}{G_0} \cdot \left[\frac{-C}{G_0} \cdot \ln \left[\frac{(G_0 - C \cdot x_{1r}) \cdot x_{1f}}{(G_0 - C \cdot x_{1f}) \cdot x_{1r}} \right] + \frac{1}{x_{1f}} - \frac{1}{x_{1r}} \right] \\
&= \frac{5 \cdot (-1,022)}{0,0023} \\
&\cdot \left[\frac{-4,088 \times 10^{-4}}{0,0023} \cdot \ln \left[\frac{(0,0023 - 4,088 \cdot 10^{-4} \cdot (-1,234)) \cdot (-1,022)}{(0,0023 - 4,088 \cdot 10^{-4} \cdot (-1,022)) \cdot (-1,234)} \right] \right. \\
&\left. + \frac{1}{(-1,022)} - \frac{1}{(-1,234)} \right] = 1465 \text{ м}
\end{aligned}$$

Розбіжність між отриманим і раніше прийнятим значенням становить:

$$\frac{|1465 - 1508|}{1508} \cdot 100\% = 2,9\% < 10\%$$

Така розбіжність незначна, тому потреби в перерахунку немає.

Для розрахунку гідравлічного опору знайдемо значення осереднених параметрів:

$$w_1 = \frac{(w_{1f} + w_{1r})}{2} = \frac{(0,089 + 0,368)}{2} = 0,228 \text{ м/с.}$$

$$\rho_1 = \frac{(\rho_{1f} + \rho_{1r})}{2} = \frac{(1002,6 + 1012,6)}{2} = 1,008 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

$$\nu_1 = \frac{(\nu_{1f} + \nu_{1r})}{2} = \frac{(9,02 \cdot 10^{-7} + 9,14 \cdot 10^{-7})}{2} = 9,08 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с.}$$

При визначенні Δp_1 загальна довжина каналу дорівнює добутку висоти модуля, кількості модулів в апараті та числа секцій установки:

$$l = l_m \cdot n_m \cdot m = 1 \cdot 3 \cdot 4 = 12 \text{ м.}$$

За даними додатка Б визначаємо коефіцієнт кінематичної в'язкості пермеату: $\nu_2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с.}$

Приймаємо такі значення коефіцієнтів гідравлічного опору:

коефіцієнт опору сітки-сепаратора $\xi_1 = 10$;

коефіцієнт опору дренажного матеріалу, $\xi_2 = 200$.

Гідравлічний опір в напірних каналах:

$$\Delta p_1 = \xi_1 \cdot \frac{48 \cdot \nu_1 \cdot \rho_1 \cdot l \cdot w_1}{d_e^2} = 10 \cdot \frac{48 \cdot 9,08 \cdot 10^{-7} \cdot 1,008 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 0,228}{(1 \cdot 10^{-3})^2} = 1,203 \times 10^6 \text{ Па,}$$

Гідравлічний опір в дренажних каналах:

$$\Delta p_2 = \xi_2 \cdot \frac{48 \cdot \nu_2 \cdot 1_p^2 \cdot (G_f - G_r)}{d_e^3} =$$

$$200 \cdot \frac{48 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 144 \cdot (1,972 \times 10^{-3} - 1,599 \times 10^{-3})}{(1 \cdot 10^{-3})^3} = 3,588 \cdot 10^3 \text{ Па.}$$

Сумарний гідравлічний опір (всі величини підставляємо в Паскалях):

$$\Delta p_p = \Delta p + 1,1 \cdot \Delta p_1 + \Delta p_2 = 6 \cdot 10^6 + 1,1 \cdot 1,203 \times 10^6 + 3,588 \cdot 10^3 =$$

$$7,327 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Напір насоса становить:

$$H = \frac{\Delta p_p}{\rho_1 \cdot g} = \frac{7,327 \cdot 10^6}{1,203 \cdot 10^6 \cdot 9,81} = 741,3 \text{ м.}$$

Значення напору дозволить підібрати насос за відомими методиками.

4.1.2 Розрахунок на міцність циліндричної одношарової обичайки

Метою розрахунку є визначення виконавчої товщини циліндричної одношарової обичайки та перевірка умов міцності та стійкості

На рисунку 4.2 зображено схему циліндричної обичайки

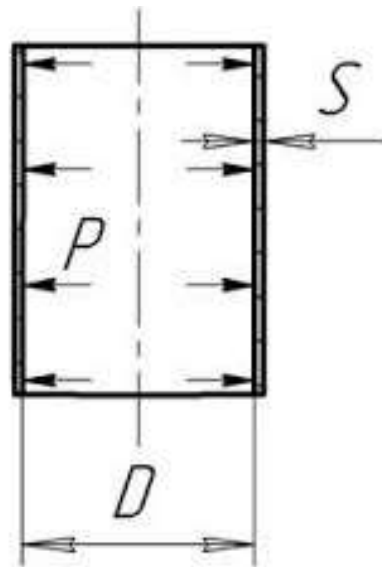


Рисунок 4.2 – Схема обичайки

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр обичайки d_a , м	0,1
Розрахунковий внутрішній тиск p , Мпа	6
Розрахункова температура t , °C	25
Додаток до компенсації корозії C_1 , м	0,002
Технологічний додаток C_3 , м	$0,2 \cdot 10^{-4}$
Матеріал обичайки	Сталь 12X18H10T

Розрахунок виконано за методикою [17].

До методики розрахунку було створено відповідну програму автоматизованого розрахунку на міцність циліндричної одношарової обичайки, складено блок – схему, таблицю ідентифікаторів, зазначені результати програмного розрахунку (Додаток В).

Визначаємо границю плинності та інші довідкові дані з [18] для сталі марки 12X18H10T за розрахункової температури $t = 25$ °C:

$$\sigma_T := 276 + \frac{261-276}{100-20} \cdot (t - 20) = 276 + \frac{261-276}{100-20} \cdot (25 - 20) = 275,06 \text{ МПа}$$

Визначаємо мінімальне значення тимчасового опору з [20] для сталі марки 12X18H10T за розрахункової температури $t = 25$ °C:

$$\sigma_B := 540 + \frac{500-540}{100-20} \cdot (t - 20) = 540 + \frac{500-540}{100-20} \cdot (25 - 20) = 537,5 \text{ МПа}$$

Коефіцієнти запасу міцності (для робочих умов):

$$n_T := 1,5$$

$$n_B := 2,4$$

Визначаємо коефіцієнт міцності зварного шва за [20]:

Для стикового шва, який виконується вручну з одного боку (довжина швів, що контролюються, становить 100 % від загальної довжини):

$$\varphi := 0,9$$

Допустиме напруження матеріалу обичайки при розрахунковій температурі:

$$\sigma := \min\left(\frac{\sigma_T}{n_T}, \frac{\sigma_B}{n_B}\right) = \min\left(\frac{275,06}{1,5}, \frac{537,5}{2,4}\right) = 183,4 \text{ МПа}$$

Розрахуновий коефіцієнт товстостінності:

$$\beta_R := e^{\frac{p}{\sigma \cdot \varphi}} = 1,037$$

Товщина стінки обичайки у першому наближенні:

$$S := 0,5 \cdot d_a \cdot (\beta_R - 1) + C_1 + C_0 = 0,5 \cdot 0,08 \cdot (1,037 - 1) + 0,002 + 0,2 \cdot 10^{-4} \\ = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

де C_0 – додаток на округлення до стандартної товщини листа.

Відношення суми додатків C_2 і C_3 до номінальної товщини листа:

$$\frac{C_2 + C_1}{S} = \frac{0 + 0,002}{3,5 \cdot 10^{-3}} = 0,571$$

де додаток $C_2 = 0$ м

Сума додатків до розрахункової товщини:

$$C := C_1 + C_3 + C_2 = 2 \cdot 10^{-3}$$

Виконавча товщина обичайки:

$$s_M := 0,5 \cdot d_a \cdot (\beta_R - 1) + c + c_0 = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт товстостінності:

$$\beta := \frac{d_a + 2 \cdot (S - c)}{d_a} = 1,037$$

Допустимий тиск:

$$p_{don} := \sigma \cdot \varphi \cdot \ln(\beta) = 6,076$$

Перевірка умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{S - c}{d_a} \leq 0,4$$

$$\frac{S - c}{d_a} = 0,019$$

$$0,019 \leq 0,4$$

Отже, умова застосування розрахункових формул виконується.

Висновок: визначили виконавчу товщину циліндричної одношарової обичайки, яка становить $S = 0,0035$ м. Також перевірили умови міцності та стійкості, умови – виконуються.

4.1.3 Розрахунок на міцність плоскої кришки

Метою розрахунку є визначення товщини плоскої кришки

На рисунку 4.3 зображено схему плоскої кришки

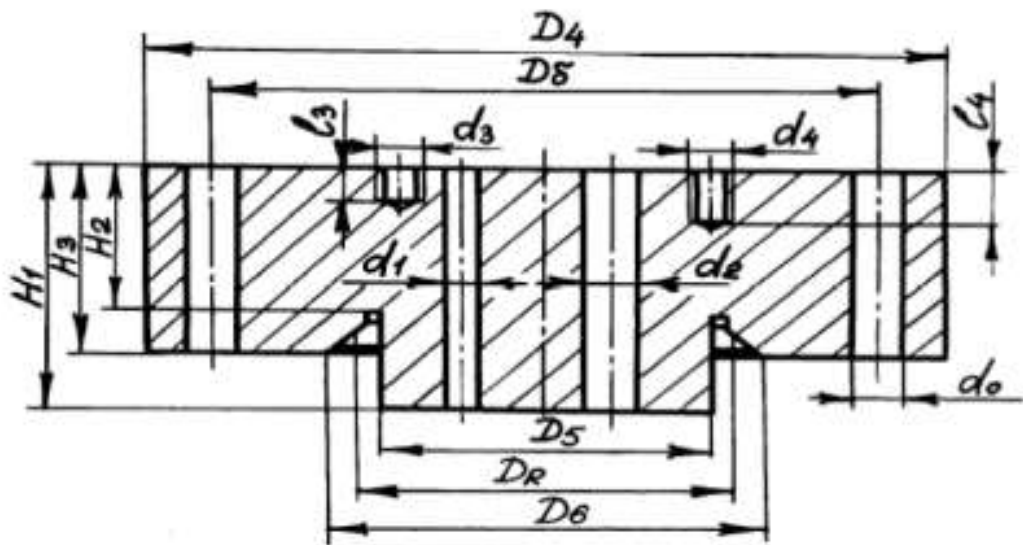


Рисунок 4.3 – Схема плоскої кришки

Вихідні дані:

Розрахунковий діаметр ущільнювальної поверхні d_a , м	0,1
Розрахунковий внутрішній тиск p , МПа	6
Діаметр окружності центрів шпильок D_σ , м	0,045
Зовнішній діаметр фланця кришки D_4 , м	0,06
Діаметр отвору під кріпильну шпильку d_0 , м	0
Діаметр отвору d_i , м	0,011
Допустиме напруження матеріалу кришки при розрахунковій температурі $[\sigma]$, МПа	54,7
Розрахункове зусилля, що діє на шпильки F , МН	1,32

Осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку F_Q , МН 0,38

Сума додатків до розрахункової товщини C , 0,002

Матеріал обичайки Сталь 12Х18Н10Т

Розрахунок проведено за методикою [18]

Попередня розрахункова товщина периферійної частини плоскої кришки:

$$H_{3P} = 0.41 \cdot d_a \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma} \cdot \frac{d_a + 3 \cdot (D_\sigma + D_4) \cdot \frac{F}{F_Q}}{D_4 - 2 \cdot d_0 - d_i}} =$$
$$= 0,41 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{\frac{6}{54,7} \cdot \frac{0,1 + 3 \cdot (0,045 + 0,06) \cdot \frac{1,32}{0,38}}{0,06 - 2 \cdot 0 - 0,011}} = 0,047 \text{ м}$$

Виконавча товщина частини плоскої кришки у першому наближенні:

$$H' = H_{3P} + C = 0,047 + 0,002 = 0,049 \text{ м}$$

Найменший діаметр виточки під ущільнення приймаємо:

$$D_5 = 0,05 \text{ м}$$

Найменший діаметр виточки під ущільнення приймаємо:

$$D_6 = 0,0505 \text{ м}$$

Товщину центральної частини кришки приймаємо:

$$H_1 = 0,05 \text{ м}$$

Товщину кришки у місці розташування виточки під ущільнення приймаємо:

$$H_2 = 0,05 \text{ м}$$

Уточнена після конструктивного оформлення товщина периферійної частини кришки:

$$H_{3R} + C = 0,049 \text{ м}$$

$$H_3 = 0,05 \text{ м}$$

Приймаємо товщину $H_3 = 0,05 \text{ м}$

Висновок: приймаємо товщину кришки $H_3 = 0,05 \text{ м}$. Дана товщина забезпечує міцність кришки.

4.2 Розрахунок випарного апарата

4.2.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата

Метою розрахунку є визначення необхідної поверхні теплообмінну і конструктивних розмірів випарного апарата для заданих умов.

Розрахункова схема до параметричного розрахунку наведена на рисунку 4.4.

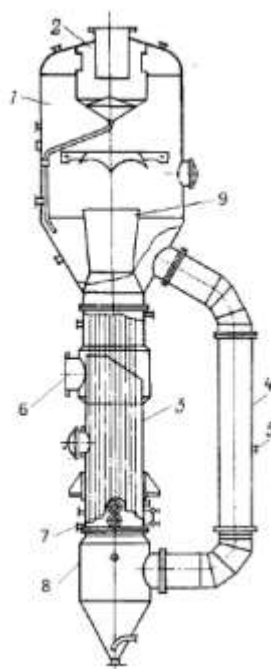


Рисунок 4.4 – Схема випарного апарата

Вихідні дані:

Матеріал, що концентрується:	NaOH;
Початкові витрати розчину , кг/с, $G_{\text{п}}$	2,778;
Початкова концентрація розчину, мас. частка, $x_{\text{п}}$	0,1;
Кінцева концентрація розчину, мас. частка, $x_{\text{к}}$	0,4;
Тиск гріючої пари, МПа, $p_{\text{г.п.}}$	0,2;
Тиск в барометричному конденсаторі, МПа, $p_{\text{б.к.}}$	0,0196;
Початкова температура розчину, °C, t_1	60;
Розрахунок проведено за методикою [19]	

Розрахунок матеріального балансу:

Кількість випареної вологи:

$$W_W = G_{II} \cdot \left(1 - \frac{x_{II}}{x_K}\right) = 2,233 \cdot \left(1 - \frac{0,0172}{0,30}\right) = 2,105 \text{ кг/с.}$$

Кількість упареного розчину:

$$G_K = G_{II} - W = 2,233 - 2,105 = 0,128 \text{ кг/с.}$$

Тепловий розрахунок

Визначення температури кипіння та корисної різниці температур

За значенням тиску в барометричному конденсаторі, визначимо температуру вторинної пари: $t_{в.п.} = 59,21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Прийmemo значення гідродинамічної депресії:

$$\Delta''' = 1^\circ\text{C}.$$

Тоді температура вторинної пари буде дорівнювати:

$$t'_{в.п.} = t_{в.п.} + \Delta''' = 60,21^\circ\text{C}.$$

За температури гріючої пари визначаємо тиск вторинної пари та питому теплоту пароутворення: $p'_{в.п.} = 0,02057 \text{ МПа}$, $r'_{в.п.} := 2,357 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

Для визначення гідростатичної депресії необхідно попередньо вибрати випарний апарат і висоту труб. Задаємося орієнтовним значенням густини теплового потоку

$$q_{op} = 15000 \text{ Вт/м}^2.$$

Тоді орієнтовна площа поверхні теплообміну становитиме:

$$F_{op} = \frac{W \cdot r'_{в.п.}}{q_{op}} = \frac{2,105 \cdot 2,357 \cdot 10^6}{15000} = 330,8 \text{ м}^2.$$

За даними підрозділу 4.3 приймаємо випарний апарат з природною циркуляцією і співвісною гріючою камерою (тип 1, виконання 3) з такими параметрами: площа поверхні теплообміну $F = 335 \text{ м}^2$; висота труб $H = 6 \text{ м}$; теплообмінні труби $38 \times 2 \text{ мм}$.

Орієнтовно прийmemo температуру кипіння більшою за температуру вторинної пари на 45°C , тобто:

$$t_{кор} = t_{в.п.} + 45 = 60,21 + 45 = 105,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

За такої температури густина розчину (кінцевої концентрації) становить $\rho_p = 1371 \text{ кг/м}^3$, густина води – $\rho_B = 954,4 \text{ кг/м}^3$.

Тоді оптимальний рівень розчину в кип'ятильних трубах становитиме:

$$H_{\text{опт}} = H \cdot [0,26 + 0,0014 \cdot (\rho_p - \rho_B)] = 6 \cdot [0,26 + 0,0014 \cdot (1371 - 954,4)] = 5,059 \text{ м.}$$

Приріст тиску в середньому шарі розчину:

$$\Delta p_p = \frac{\rho_p \cdot g \cdot H_{\text{опт}}}{2} = \frac{1371 \cdot 9,81 \cdot 5,059}{2} = 3,402 \times 10^4 \text{ Па.}$$

Тоді тиск в середньому шарі кип'ятильних труб буде дорівнювати:

$$p_{cp} = p'_{\text{в.н.}} + \Delta p_p = 0,02057 + 34023,4944 = 3,402 \times 10^4 \text{ Па.}$$

Температура кипіння при тиску в середньому шарі кип'ятильних труб становить $t_{\text{кк}} = 83,03 \text{ }^\circ\text{C}$, питома теплота пароутворення $r_{cp} = 2,302 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. Тоді гідростатична депресія буде дорівнювати:

$$\Delta'' = t_{\text{кк}} - t_{\text{в.н.}} = 83,03 - 60,21 = 22,82 \text{ }^\circ\text{C}.$$

За кінцевою концентрацією розчину знаходимо значення температурної депресії $\Delta'_{\text{атм}} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тоді температурна депресія при робочих умовах становитиме:

$$\Delta' = 16,2 \cdot \frac{(273 + t_{\text{кк}})^2 \cdot \Delta_{\text{атм}}}{r_{cp}} = 16,2 \cdot \frac{(273 + 83,03)^2 \cdot 28}{2,302 \cdot 10^6} = 24,98 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура кипіння розчину:

$$t_p = t_{\text{в.н.}} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 59,21 + 24,977 + 22,82 + 1 = 108,007 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Така температура близька до попередньо прийнятої тому потреби в уточнюючих розрахунках немає.

Температура гріючої пари при заданому тиску становить $t_{\text{г.п.}} = 119,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_k = t_{\text{г.п.}} - t_p = 119,6 - 108,007 = 11,59 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При такій температурі питома теплота пароутворення становить $r_{\text{г.п.}} = 2,209 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

Ентальпія пари при розглядуваних умовах дорівнює $i_{в.п.} = 2,71 \cdot 10^6$ Дж/кг.
Питома теплоємність розчину при початковий і кінцевих умовах відповідно дорівнює: $c_{п} = 3846,4$ Дж/(кг·К); $c_{к} = 3486,1$ Дж/(кг·К).

Визначення теплового навантаження.

Тоді з теплового балансу знайдемо витрату гріючої пари:

$$G_{г.п.} = \frac{1,05 \cdot (W \cdot i_{г.п.} + G_{к} \cdot c_{к} \cdot t_{п} - G_{п} \cdot c_{п} \cdot t_{1})}{r_{г.п.}} =$$
$$= \frac{1,05 \cdot (2,1 \cdot 2,7 \cdot 10^6 + 0,13 \cdot 3481,1 \cdot 108 - 2,23 \cdot 3846,4 \cdot 60)}{2,2 \cdot 10^6} =$$
$$= 2,5 \text{ кг/с}$$

Теплове навантаження гріючої камери:

$$Q = G_{г.п.} \cdot r_{г.п.} = 2,5 \cdot 2,2 \cdot 10^6 = 5,499 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Визначимо кількість труб в гріючій камері:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_3 \cdot H} = \frac{355}{\pi \cdot 0,038 \cdot 6} = 495,6$$

Приймаємо $n = 496$.

Визначимо коефіцієнти тепловіддачі

Коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки:

Густина стікання конденсату:

$$\Gamma = \frac{G_{г.п.}}{\pi \cdot n \cdot d_3} = \frac{2,4996}{\pi \cdot 496 \cdot 0,038} = 0,042 \text{ кг/(м·с).}$$

При температурі гріючої пари властивості конденсату становлять: густина $\rho_2 = 943,3$ кг/м³; коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_2 = 2,32 \cdot 10^{-4}$ Па·с; теплоємність $c_2 = 4422$ Дж/(кг·К); коефіцієнт теплопровідності $\lambda_2 = 0,686$ Вт/(м·К).

Приведене товщина плівки конденсату:

$$\delta = \left(\frac{\mu_2^2}{\rho_2 \cdot g} \right)^{0,33} = \left[\frac{(2,32 \cdot 10^{-4})^2}{943,3^2 \cdot 9,81} \right]^{0,33} = 2,045 \times 10^{-5} \text{ м.}$$

Плівковий критерій Рейнольдса:

$$Re_{пл} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_2} = \frac{4 \cdot 0,0422}{2,32 \cdot 10^{-4}} = 727,8.$$

Критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4422 \cdot 2,32 \cdot 10^{-4}}{0,686} = 1,495$$

Оскільки $Re_{пл} 400 >$ плівковий критерій Нуссельта визначається за формулою:

$$Nu_{пл} = \frac{Re_{пл}}{\frac{6,25 \cdot (Re_{пл} - 400)}{Pr^{0,33}} + 1580} = \frac{727,828}{\frac{6,25 \cdot (727,828 - 400)}{1,495487^{0,33}} + 1580} = 0,216$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_{пл} \cdot \lambda_2}{\delta} = \frac{0,22 \cdot 0,686}{2,04 \cdot 5 \cdot 10^{-5}} = 7,236 \times 10^3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до упарюваного розчину.

Теплофізичні властивості розчину при температурі кипіння становлять: густина $\rho_1 = 1368,7 \text{ кг/м}^3$; коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu_1 = 1,838 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; коефіцієнт теплопровідності $\lambda_1 = 0,5613 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; теплоємність $c_1 = 3486,1 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$; поверхневий натяг $\sigma_1 = 0,1045 \text{ Н/м}$; коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_2 = 0,002516 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Властивості вторинної пари: густина $\rho_{п} = 0,3287 \text{ кг/м}^3$; питома теплота пароутворення $r_1 = 2,302 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$; густина пари при атмосферному тиску $\rho_{п,0} = 0,579 \text{ кг/м}^3$.

Тоді коефіцієнт тепловіддачі від стінки до упарюваного розчину можна записати (з урахуванням того, що величина густини теплового потоку невідома):

$$\alpha_1 = \frac{780 \cdot \lambda_1^{1,3} \cdot \rho_1^{0,5} \cdot \rho_{п}^{0,06}}{\sigma_1^{0,5} \cdot r_1^{0,6} \cdot \rho_{п,0}^{0,66} \cdot c_1^{0,3} \cdot \mu_1^{0,3}} \cdot q^{0,6} =$$
$$= \frac{780 \cdot 0,561^{1,3} \cdot 1387,7^{0,5} \cdot 0,3287^{0,06}}{0,105^{0,5} \cdot (2,3 \cdot 10^6)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3486,1^{0,3} \cdot 0,00252^{0,3}} \cdot q^{0,6} = 4,49 q^{0,6}.$$

Нехай $\alpha_1 = B \cdot q^{0,6}$. Тоді $B = 4,49$

Коефіцієнт тепловіддачі визначається з залежності:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_T}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_T}{\lambda} + \frac{1}{B \cdot q^{0,6}}}$$

Підставляючи відомі значення (враховуючи, що товщина труб $\delta = 0,002$ м та коефіцієнт теплопровідності матеріалу труб (корозійностійкої сталі) $\lambda = 17,5$ Вт/(м·К)) отримуємо рівняння відносно q :

$$\frac{q}{\Delta t_K} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_T}{\lambda} + \frac{1}{B \cdot q^{0,6}}}.$$

Звідси $q = 1,033 \cdot 10^4$ Вт/м².

Розрахункова площа поверхні теплообміну:

$$F_p = \frac{Q}{q} = \frac{5,4 \cdot 10^6}{1,033 \cdot 10^4} = 532,4 \text{ м}^2.$$

Отримане значення значно перевищує прийняте значення. Тому необхідно вибрати інший апарат.

За даними підрозділу 4.3 приймаємо інший випарний апарат з природною циркуляцією і співвісною гріючою камерою, параметри якого: площа поверхні теплообміну $F = 560$ м²; висота труб $H = 6$ м; теплообмінні труби 38×2 мм. Оскільки висота труб у нього така ж сама, як і у раніше прийнятого апарата, то потреби перераховувати гідростатичну депресію немає. Перерахунок починаємо із визначення сила труб:

$$N_M := \frac{F_p}{\pi \cdot d_3 \cdot H} = 781,8.$$

Приймаємо $n = 782$.

Коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки:

Густина стікання конденсату:

$$\Gamma = \frac{G_{\Gamma.n.}}{\pi \cdot n \cdot d_3} = \frac{2,49961}{\pi \cdot 782 \cdot 0,038} = 0,027 \text{ кг/(м·с)}.$$

Оскільки температура граючої пари не змінилася, тому властивості конденсату і приведена товщина плівки конденсату, а також критерій Прантдля, залишаються незмінним.

Плівковий критерій Рейнольдса:

$$Re_{nl.} := \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_2} = \frac{4 \cdot 0,02677514691188447}{2,32 \cdot 10^{-4}} = 461,6.$$

Оскільки $Re_{пл} 400 >$ плівковий критерій Нуссельта визначається за формулою:

$$Nu_{пл} = \frac{Re_{пл}}{\frac{6,25 \cdot (Re_{пл} - 400)}{Pr^{0,33}} + 1580} = \frac{461,64}{\frac{6,25 \cdot (461,64 - 400)}{1,4955^{0,33}} + 1580} = 0,241.$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_{пл} \cdot \lambda_2}{\delta} = \frac{0,24077 \cdot 0,686}{2,045 \cdot 10^{-5}} = 8,077 \cdot 10^3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Оскільки температура кипіння розчину залишилася незмінною, тому теплофізичні властивості упарюваного розчину та вторинної пари також незмінні.

Отже:

$$\alpha_1 := 4,49 \cdot q^{0,6}.$$

Тоді:

$$\frac{q}{\Delta t_K} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_T}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1}}.$$

Тоді площа поверхні теплообміну граючої камери становитиме:

$$F_m := \frac{Q}{q} = \frac{5,54 \cdot 10^6}{10612} = 518,2 \text{ м}^2.$$

Така площа перевищує прийняте значення. Тоді запас площі становитиме:

$$\varepsilon = \frac{F_p - F}{F} \cdot 100\% = \frac{560 - 518,2}{518,2} \cdot 100\% = 8,1\% \text{ м}^2.$$

Такого запасу достатньо, тому обраний випарний апарат задовольняє робочим умовам.

4.2.2 Конструктивний розрахунок

Метою розрахунку є вибір схеми розміщення труб в трубній решітці, визначення діаметра корпусу, розмірів парового простору

Розрахункова схема до конструктивного розрахунку наведена на рисунку 4.4.

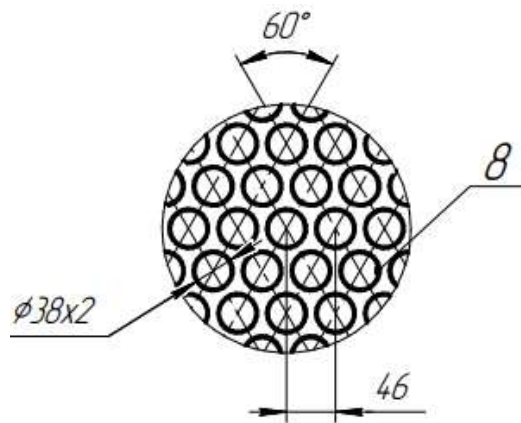


Рисунок 4.4 – Схема конструктивного розрахунку

Вихідні дані:

Площа поверхні теплообміну, м ² , F	560;
Внутрішній діаметр труби, м, d _в	0,034;
Зовнішній діаметр труби, м, d _з	0,038;
Кількість труб, n	782;
Витрата гріючої пари, кг/с, W	2,105;
Тиск вторинної пари, Па, p _{вп}	0,021;

Розрахунок здійснюємо за методикою, наведеною в [19]

За тиском вторинної пари і відповідною температурою (t_{вп}=60,21°C) заходимо густину пари ρ_п = 0,1312 кг/м³ та густину конденсату ρ_п = 982,9 кг/м³, а також в'язкість пари μ_п = 1,051·10⁻⁵, Па·с.

Оскільки вибрана конструкція випарного апарата виконана з винесеною циркуляційною трубою, спершу розраховуємо діаметр гріючої камери.

Приймаємо розташування труб у трубній решітці за вершинами правильних трикутників, тобто α = 60°. Крок між трубами приймаємо відповідно до рекомендацій, наведених в пункті 2.4.1, приймаємо крок між трубами t = 0,048 м. Також приймаємо коефіцієнт використання трубної решітки ψ = 0,75. Тоді:

$$D_{к.р.} = \sqrt{\frac{4 \cdot n \cdot t^2 \cdot \sin(\alpha)}{\pi \cdot \psi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 782 \cdot 0,048^2 \cdot \sin(60 \cdot \text{deg})}{\pi \cdot 0,75}} = 1,628 \text{ м.}$$

Тоді за рекомендаціями стандартів приймаємо діаметр гріючої камери $D_K=1,8$ м.

Розраховуємо діаметр циркуляційної труби:

$$D_{m.p.} = \sqrt{0,6 \cdot d_B^2 \cdot n} = \sqrt{0,6 \cdot 0,034^2 \cdot 782} = 0,736 \text{ м.}$$

Приймаємо: $D_T = 0,8$ м.

За величиною тиску та вторинної пари приймаємо значення коефіцієнтів $f_1 = 0,85$ та $f_2 = 1$. Приймаємо значення допустимого напруження парового простору при атмосферному тиску $W_{атм}$:

$$W' = f_1 \cdot f_2 \cdot W_{атм} = 0,85 \cdot 1 \cdot \frac{1000}{3600} = 0,236 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{с)}$$

Тоді об'єм парового простору буде становити:

$$V_C = \frac{W}{W'} = \frac{2,105}{0,236} = 8,915 \text{ м}^3.$$

В першому наближенні приймаємо діаметр сепаратора $D_C = 2,2$ м.

Тоді швидкість пари в паровому просторі становитиме:

$$w_n = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_{пар} \cdot D_C^2} = \frac{4 \cdot 2,1}{\pi \cdot 0,317 \cdot 2,2^2} = 1,747 \text{ м/с.}$$

Приймаємо діаметр краплин $d_K = 0,0005$ м. Тоді критерій Рейнольдса становитиме:

$$Re = \frac{w_{П} \cdot d_K \cdot \rho_{пар}}{\mu_{П}} = \frac{1,74 \cdot 0,0005 \cdot 0,317}{1,15 \cdot 10^{-5}} = 24,076.$$

Коефіцієнт опору за таких умов визначається за формулою:

$$\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}} = \frac{18,5}{24,07^{0,6}} = 2,743.$$

Розраховуємо швидкість витання краплини:

$$w_B = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_{конд} - \rho_{пар}) \cdot d_K}{3 \cdot \xi \cdot \rho_{пар}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot (983,2 - 0,317) \cdot d_K}{3 \cdot 2,743 \cdot 0,317}} = 2,719 \text{ м/с.}$$

Оскільки швидкість витання більша за швидкість пари в сепараторі, то вибраний діаметр відповідає умовам роботи сепаратора.

Висота сепаратора:

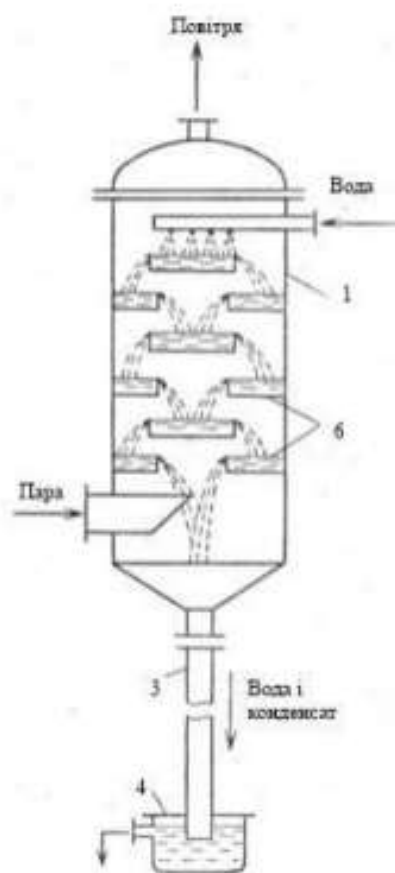
$$D_c = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_c^2} = \frac{4 \cdot 8,91}{\pi \cdot 2,2^2} = 2,345 \text{ м/с.}$$

Така висота не перевищує допустимого стандартом значення (таблиця 3.4) тому приймаємо висоту сепаратора $H_c = 2,35 \text{ м.}$

4.2.3 Розрахунок допоміжного обладнання

Метою розрахунку є визначення діаметру та висоти барометричного конденсатора, а також головних характеристик вакуум-насоса.

Розрахунова схема по розрахунку допоміжного обладнання наведена на рисунку 4.5



1 – корпус; 3 – барометрична труба; 4 – барометрична ємність; 5 – уловлювач;
6 – кільцеві полицки

Рисунок 4.5 – Схема до розрахунку допоміжного обладнання

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 66
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

Вихідні дані:

Витрата гріючої пари, кг/с, W 2,105;

Тиск в барометричному конденсаторі, МПа, $p_{б.к.}$ 0,02;

Температура охолоджуючої води, °C, t_1 8;

Розрахунок здійснюємо за методикою, наведеною в [19]

За значеннями тиску в барометричному конденсаторі знаходимо температуру пари $t_{бк} = 59,12^\circ\text{C}$, а також густину $\rho_{п} = 0,1259 \text{ кг/м}^3$ та ентальпію $i_{вп} = 2,606 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

Температуру конденсації за рекомендаціями, наведеними в [19] приймаємо на 5°C нижчою за температуру пари, тобто:

$$t_k = t_{бк} - 5 = 54,12^\circ\text{C}.$$

За температурою знаходимо значення густини конденсату $\rho_k = 985,9 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_k = 0,5157 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, та теплоємність конденсату $c_k = 4190 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$.

Витрата охолоджуючої води в конденсаторі становитиме:

$$G = W \cdot \frac{i_{ен} - c_k \cdot t_k}{c_k \cdot (t_k - t_{ох})} = 2,105 \cdot \frac{2,606 \cdot 10^6 - 4190 \cdot 54,12}{4190 \cdot (54,12 - 8)} = 25,92 \text{ кг/с}.$$

Для вибору діаметра барометричного конденсатора задамося швидкістю пари в ньому $w_{п} = 20 \text{ м/с}$. Тоді діаметр конденсатора становитиме:

$$D_{бк} = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_{п} \cdot w_{п}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,1}{\pi \cdot 0,1259 \cdot 20}} = 1,032 \text{ м}.$$

За таблицею приймаємо барометричний конденсатор діаметром 1 м. Звідти ж знаходимо і діаметр штуцера для барометричної труби такого конденсатора 0,207 м (умовний діаметр 200 мм).

В такому разі швидкість стікання конденсату в барометричній трубі становитиме:

$$w_k = \frac{4 \cdot (W + G)}{\pi \cdot d_{тп}^2 \cdot \rho_k} = \frac{4 \cdot (2,1 + 25,91)}{\pi \cdot 0,207^2 \cdot 985,9} = 0,845 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_k \cdot d_{тп} \cdot \rho_k}{\mu_k} = \frac{0,845 \cdot 0,207 \cdot 985,9}{0,51 \cdot 10^{-3}} = 3,342 \cdot 10^5.$$

Барометрична труба виготовляється зі сталі, для нових сталевих труб за таблицею 4.23 приймаємо величину абсолютної шорсткості труб $\Delta = 0,1$ мм. Тоді відносна шорсткість буде дорівнювати:

$$e = \frac{\Delta}{d_{Tp}} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{0,207} = 4,831 \cdot 10^{-4}.$$

Межі діапазону складуть

- нижня

$$\frac{10}{e} = \frac{10}{4,831 \times 10^{-4}} = 2,07 \cdot 10^4;$$

- верхня

$$\frac{560}{e} = \frac{560}{4,831 \times 10^{-4}} = 1,159 \cdot 10^6.$$

Оскільки значення критерію Рейнольдса ($Re_1 = 330076$) лежить в межах цього діапазону, то течія відповідає умовам змішаного тертя, а коефіцієнт тертя визначається за формулою (4.123):

$$\lambda_M = 0,11 \cdot \left(e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(0,00048 + \frac{68}{334224,4} \right)^{0,25} = 0,018.$$

Розрідження у барометричному конденсаторі:

$$p_p = p_a - p_{б.к.} = 0,1 - 0,0196 = 0,08 \text{ МПа.}$$

Серед місцевих опорів наявні вхід в труби та вихід з труби. За рекомендаціями наведеними в [19] приймаємо відповідні коефіцієнти місцевих опорів: $\xi_1 = 1,0$ та $\xi_2 = 0,5$.

Отже висота барометричної труби визначається зі співвідношення:

$$H_{бт} = \frac{p_p}{\rho_K \cdot g} + \left(1 + \xi_1 + \xi_2 + \lambda \cdot \frac{H_{бт}}{d_{Tp}} \right) \cdot \frac{w_K^2}{2 \cdot g} + 0,5$$

Звідси: $H_{бт} = 8,932$ м.

Приймаємо $H_{б.т.} = 9$ м.

Розрахунок вакуум насоса

Кількість відкачуваного повітря:

$$\begin{aligned} G_{не} &= 0,000025 \cdot (W + G_K) + 0,01 \cdot W = \\ &= 0,000025 \cdot (2,105 + 25,92) + 0,01 \cdot 2,105 = 0,021 \text{ кг/с.} \end{aligned}$$

Температура відкачуваного повітря:

$$T_{ne} = 273 + t_{ox} + 4 + 0,1 \cdot (t_K - t_{ox}) = \\ = 273 + 8 + 4 + 0,1 \cdot (54,12 - 8) = 289,612 \text{ К.}$$

Об'єм відкачуваного повітря:

$$V_{ne} = \frac{287 \cdot T_{ne} \cdot G_{ne}}{p_p} = \frac{287 \cdot 289,612 \cdot 0,0211}{80000} = 0,022 \text{ м}^3/\text{с.}$$

4.2.4 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.6.

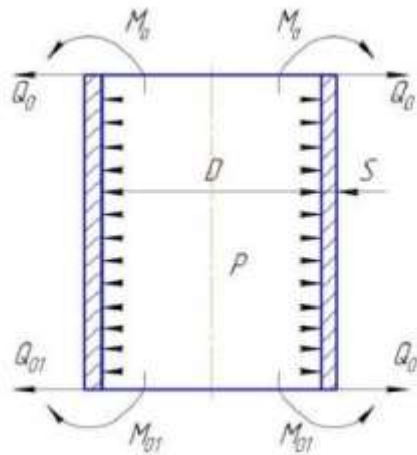


Рисунок 4.6 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім тиском

Вихідні дані:

Розрахункова температура у міжтрубному просторі t_k , °C	54,12
Тиск у міжтрубному просторі p_{mt} , МПа	0,2
Тиск у трубному просторі p_{tr} , МПа	0,6

Діаметр D_K , м

1,8

Матеріал

Сталь 12X18H10T

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в [17]

Для сталі марки 12X18H10T за розрахункової температури $t = 54,12^\circ\text{C}$ допустиме напруження [18]:

$$[\sigma] = 167 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва:

$$\varphi_p = 0,9.$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S_R = \frac{p_{MT} \cdot D_K}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_p - p_{Tp}} = \frac{0,2 \cdot 1,8}{2 \cdot 167 \cdot 0,9 - 0,6} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії та корозії:

$$C_e = 0 \quad C_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

$$S_1 = S_R + C_1 + C_e = 0,0012 + 2 \cdot 10^{-3} + 0 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску:

$$C_2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини:

$$C_3 = 0 \text{ м.}$$

Відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S_1 :

$$\frac{C_2 + C_3}{S_1} = \frac{3 \cdot 10^{-4} + 0}{0,0032} = 0,094.$$

Сума додатків до розрахункової товщини:

$$C_1 = C_1 + C_2 = 2 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S_1 = S_R + C + C_0 = 0,0012 + 0,0023 + 3,5 \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

де $C_0 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Приймаємо $S = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D_K + S - C} = \frac{2 \cdot 167 \cdot 0,9 \cdot (0,007 - 0,0023)}{1,8 + 0,007 - 0,0023} = 0,783 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності:

$$p_{mp} \leq [p],$$

$$0,7 \leq 0,783 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки $S=0,007$ м обичайки забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

Висновок: умова міцності виконується, отже товщина стінки $S = 0,007$ м обичайки забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

4.2.5 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією зовнішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію та перевірка її на міцність та стійкість.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.7.

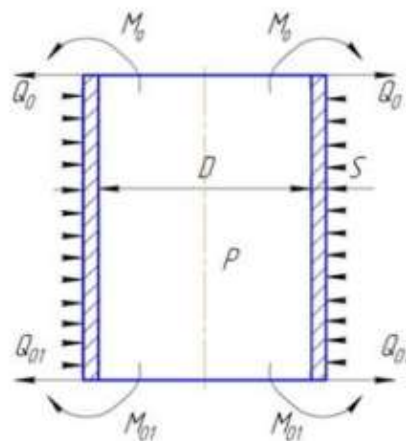


Рисунок 4.7 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої зовнішнім тиском

Вихідні дані:

Діаметр D, м 1,8

Висота H, м 6

Розрахунковий тиск p_R , МПа 0,2

Допустиме напруження σ , МПа 167

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в [21]

Товщина стінки:

$$S_R = \max \left(K_2 \cdot 10^{-2}, \frac{1,1 \cdot p_R \cdot D_K}{2 \cdot \sigma} \right) = \max \left(0,3 \cdot 10^{-2}, \frac{1,1 \cdot 0,2 \cdot 1,8}{2 \cdot 167} \right) = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії та ерозії

$$C_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

$$S_1 := S_R + C_1 = 0,003 + 4 \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску $C_2 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Технологічний додаток до розрахункової товщини $C_3=0$

Сума додатків розрахункової товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 4 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} + 0 = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S = S_R + C = 0,003 + 0,0045 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо $S = 16 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Допустимий тиск із умови міцності:

$$[p_d] = \frac{2 \cdot \sigma \cdot (S - C)}{D_K + S - C} = \frac{2 \cdot 167 \cdot (16 \cdot 10^{-3} - 0,0045)}{1,8 + 16 \cdot 10^{-3} - 0,0045} = 2,12 \text{ МПа.}$$

Допустимий тиск з умови стійкості в межах пружності:

$$\begin{aligned}
 [p]_E &= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D_K}{n_y \cdot 2,5} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - C)}{D_K} \right]^{2,5} \\
 &= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,95 \cdot 10^5 \cdot 1,8}{2,4 \cdot 2,5} \cdot \left[\frac{100 \cdot (16 \cdot 10^{-3} - 0,0045 \cdot 10^{-6})}{1,8} \right]^{2,5} \\
 &= 0,397
 \end{aligned}$$

де $n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу міцності, $E = 1,95 \cdot 10^5$ – модуль пружності.

Допустимий зовнішній тиск:

$$[p] = \frac{p_d}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_d}{p_E}\right)^2}} = \frac{2,12}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,12}{0,397}\right)^2}} = 0,39 \text{ МПа.}$$

Умова міцності та стійкості:

$$p \geq p_R$$

$$0,39 \geq 0,2$$

Висновок: умова міцності та стійкості виконується, отже вибрана товщина стінки $0,016 S = m$ обичайки забезпечує міцність та стійкість апарата в умовах робочих навантажень.

4.2.6 Розрахунок конічного днища

Метою розрахунку є визначення товщини стінки конічного днища і перевірка його на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.8.

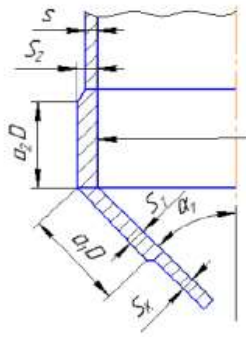


Рисунок 4.8 – Схема до розрахунку конічного днища

Вихідні дані:

Діаметр апарата D, м	1,8
Розрахунковий тиск p_R , МПа	0,6
Допустиме напруження σ , МПа	167
Кут α_k , °	60

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в [22].

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [2].

Розрахункова товщина стінки конічного днища:

$$S_{kR} = \frac{p_r \cdot D_K}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_p - p_R} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha_K)} = \frac{0,6 \cdot 1,8}{2 \cdot 167 - 0,2} \cdot \frac{1}{\cos(60 \cdot \text{deg})} = 6,471 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $\varphi_p = 1$ – розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва. Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії:

$$C_e = 0 \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії:

$$C_1 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки днища у першому наближенні:

$$S_k = S_{kR} + C_1 + C_0 = 0,00647 + 4 \cdot 10^{-4} + 1,129 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Обираємо $C_0 = 1,129 \cdot 10^{-3}$ м, через те, що найближча товщина листового прокату становить $8 \cdot 10^{-3}$ м.

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску:

$$C_2 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини:

$$C_3 = 0 \text{ м.}$$

Відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S_k ¹:

$$\frac{C_2 + C_3}{S_k} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4} + 0}{0,008} = 0,031.$$

Сума додатків до розрахункової товщини становить $0,038 < 0,05$, тому $C = 4 \cdot 10^{-4}$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S_k = S_{kR} + C + C_0 = 0,00647 + 4 \cdot 10^{-4} + 1,129 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Обираємо $C_0 = 1,129 \cdot 10^{-3}$ м, через те, що найближча товщина листового прокату становить $8 \cdot 10^{-3}$ м.

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$0,001 \leq \frac{S_k \cdot 0,5}{D_K} \leq 0,05$$

$$0,001 \leq \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5}{1,8} \leq 0,05$$

$$0,001 \leq 0,004 \leq 0,05$$

Умова застосування розрахункових формул виконується.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D_K} = \frac{2 \cdot 167 \cdot (16 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-4})}{\cos(\alpha_K)} + (S_k - C) = 1,441 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності:

$$p_R \leq p,$$

$$0,6 \text{ МПа} \leq 1,441 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Висновок: умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки $S_k = 8 \cdot 10^{-3}$ м забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

4.2.7 Розрахунок несучої спроможності вертикальних циліндричних обичайок від дії реакції опорних лап

Метою розрахунку є перевірка несучої спроможності обичайки під дією опорних навантажень.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.9.

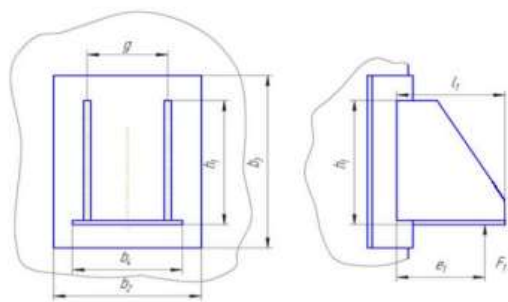


Рисунок 4.9 – Розрахункова схема

Вихідні дані:

Виліт опори l_1 , м	0,42
Товщина стінки апарату S , м	$16 \cdot 10^{-3}$
Прибавка до товщини листа C , м	$4 \cdot 10^{-4}$
Висота опори h_1 , м	0,705
Розрахунковий діаметр апарату D_r , м	1,8
Число опор z , шт.	4
Допустиме напруження $[\sigma]$, МПа	167
Ширина стійки b_4 , м	0,55
Робочий тиск p , МПа	0,6
Вага G , МН	0,034
Момент M , МН·м	0

Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [22].

Умова застосування формул:

$$\frac{S - C}{D_K} \leq 0,05 ,$$

$$\frac{0,016 - 4 \times 10^{-3}}{D_K} \leq 0,05 ,$$

$$0,0087 \leq 0,05 ,$$

Умова виконується.

Відстань між точкою прикладання зусилля та обичайкою або підкладним листом:

$$e_1 = \frac{5 \cdot 1_1}{6} = \frac{5 \cdot 0,42}{6} = 0,35 \text{ м.}$$

Загальні мембранні напруження:

$$\sigma_{MH} = \frac{p \cdot D_K}{2 \cdot (S - C)} = \frac{0,6 \cdot 1,8}{2 \cdot (16 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-4})} = 34,62 \text{ МПа.}$$

Перевірка несучої спроможності вузла приварки опорної лапи до циліндричної обичайки без підкладного листа.

Загальні мембранні напруження у циліндричних обичайках для $\varphi_p=1$:

$$\sigma_m = \sigma_{MH} = 34,62 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт, що враховує ступінь навантаження загальними напруженнями:

$$v_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\sigma_m}{\sigma \cdot \varphi_p} = 0,166 ,$$

де $K_2 = 1,2$ – коефіцієнт для робочих умов, $n_T = 1,5$ – коефіцієнт запасу міцності, $\varphi_p = 1$ – коефіцієнт міцності зварного шва.

Коефіцієнт що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину:

Якщо $v_2 \geq 0$, то $v_1 = 0,3$.

Коефіцієнт K_1 :

$$K_1 = \frac{1 + 3 \cdot v_1 \cdot v_2}{3 \cdot v_1^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot v_1^2 \cdot (1 - v_2^2)}{[1 + 3 \cdot (v_1 \cdot v_2)]^2} + 1} - 1 \right]$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,3 \cdot 0,166}{3 \cdot 0,3^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot 0,3^2 \cdot (1 - 0,16^2)}{(1 + 3 \cdot (0,3 \cdot 0,16))^2} + 1} - 1 \right] = 1,12$$

Граничне напруження вигину обичайки у місці приварки опорної лапи:

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot \sigma \cdot \frac{n_T}{\sigma \cdot \varphi_p} = 1,12 \cdot 167 \cdot \frac{1,5}{167} = 1,68 \text{ МПа.}$$

Геометричні параметри конструктивних вузлів приєднання опорних лап до обичайки:

$$u = \ln \left[\frac{D_K}{2 \cdot (S - C)} \right] = \ln \left[\frac{1,8}{2 \cdot (16 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-4})} \right] = 4,055,$$

$$y = \ln \left(\frac{h_1}{D_K} \right) = \ln \left(\frac{0,705}{1,8} \right) = -0,937,$$

$$y_1 = \ln \left(\frac{b_4}{D_K} \right) = \ln \left(\frac{0,55}{1,8} \right) = -1,186,$$

Коефіцієнт K_7 :

$$K_7 = Z = 0,64.$$

Зусилля, що діє на опорну лапу, яка приварена до циліндричної обичайки:

$$F_1 = \frac{G}{2} + 0 = 0,017 \text{ МН.}$$

Допустиме зусилля у вузлі приварки опорної лапи до обичайки:

$$[F_1] = \frac{[\sigma] \cdot h_1 \cdot (S - C)^2}{K_7 \cdot e_1} = \frac{167 \cdot 0,705 \cdot (16 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-4})^2}{0,64 \cdot 0,35} = 0,128 \text{ МН.}$$

Умова несучої спроможності опорного вузла:

$$F_1 \leq [F_1],$$

$$0,017 \text{ МН} \leq 0,128 \text{ МН.}$$

Висновок: умова несучої спроможності виконується.

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Розділ магістерської дисертації «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» є обов'язковим для розгляду та вирішення проблем, пов'язаних із забезпеченням безпечних умов проєктування, експлуатації та розміщення технологічного обладнання. Під час опрацювання технічної частини дисертації всі конструкторські рішення, вибір параметрів процесу та компоновання устаткування повинні формуватися з урахуванням чинних вимог охорони праці, промислової безпеки та правил дій у разі надзвичайних ситуацій. Обґрунтування цих рішень має відображатися як у текстових поясненнях із зазначенням відповідних нормативно-правових документів, так і в графічній частині роботи [23].

У межах самого розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» наводяться лише короткі узагальнюючі відомості щодо тих аспектів безпеки, які вже були розглянуті в технічній частині роботи, із посиланнями на відповідні сторінки та креслення. Основна увага в цьому розділі зосереджується на питаннях, які не були опрацьовані раніше, та на формуванні практичних технічних заходів, спрямованих на забезпечення електробезпеки, дотримання вимог виробничої санітарії та запобігання надзвичайним ситуаціям.

Запропоновані рішення повинні враховувати особливості обраного технологічного обладнання, умови його експлуатації, можливі ризики та специфіку виробничого середовища. Його структурні акценти та обсяг матеріалу визначаються з урахуванням рекомендацій наукового керівника та консультанта з охорони праці, що забезпечує відповідність змісту розділу тематиці й завданням магістерської дисертації.

Тема кваліфікаційної роботи має назву «Модернізація установки виробництва каустичної соди з розробкою випарного апарата та апарата зворотного осмосу».

Тому виділимо декілька чинників, які потрібно буде розглянути:

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 79
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

1. Небезпека ураження струмом під час роботи обладнання
2. Рівень виробничого шуму та вплив вібрації
3. Пожежна безпека
4. Мікроклімат
5. Потенційні надзвичайні ситуації

5.1 Небезпека ураження струмом під час роботи обладнання

Ураження електричним струмом є одним з найбільш критичних ризиків під час роботи з технологічним обладнанням, яке містить електроприводи, системи автоматики, нагрівальні елементи, насоси та контрольно-вимірювальні прилади. Потенційно небезпечними є будь-які установки напругою понад 50В змінного струму або 120В постійного, відповідно до ДСТУ EN 61140:2019, які класифікують рівні небезпеки та види захисту. Унаслідок пошкодження ізоляції, намокання поверхонь, порушення цілісності кабелів або неправильного обслуговування може виникнути пряме або непряме доторкання до струмопровідних частин, що призводить до уражень різного ступеня тяжкості [24].

Експлуатація електрообладнання регламентується НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», що визначає вимоги до персоналу, періодичність оглядів, порядок підключення і зняття напруги та оформлення нарядів-допусків. Норматив зобов'язує, щоб обслуговування виконували працівники не нижче II групи з електробезпеки, а роботи під напругою не нижче III групи. Для технологічних цехів із підвищеною вологістю категорично забороняється експлуатація обладнання без захисного заземлення або пристроїв захисного відключення.

Захисне заземлення є обов'язковим для всього металевого обладнання, яке може опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляційного шару. Воно регламентується за ДСТУ EN 61140:2019, що визначає класифікацію засобів

захисту та вимоги до їх ефективності, а також вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ).

Причина заземлення полягає у зниженні потенціалу корпусу технологічного обладнання до рівня, який унеможливило б ураження персоналу електричним струмом при потенційній напрузі металевих частин конструкцій. Всі корпуси насосів, випарних апаратів, фільтрів, щитів керування та контрольно-вимірювального обладнання мають бути надійно під'єднані до головної заземлювальної шини (ГЗШ). Заборонено використовувати трубопроводи води, пари, газу або інші сторонні металеві конструкції як заземлювачі. Перевірка ефективності заземлення повинна виконуватися не рідше одного разу на рік, а у вибухонебезпечних приміщеннях – двічі на рік.

Встановлення системи захисту від ураження електричним струмом персоналу повинне враховувати напругу і частоту струму у кожному з апаратів, умови навколишнього середовища відповідно до ПУЕ, яким методом здійснюється електропостачання, який саме тип робіт виконується з обладнанням.

5.2 Рівень виробничого шуму

Під час роботи всього виробництва каустичної соди кожен прилад стає джерелом виробничого шуму. Однак головними варто виділити насоси, компресори та теплообмінне обладнання [25].

Нормативне регулювання у сфері шуму здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», який визначає допустимі рівні звукового тиску на робочих місцях (для більшості безперервних процесів – до 80 дБА. За цим же документом регламентуються і вібраційні навантаження, які визначають допустимі значення локальної та загальної виробничої вібрації.

Тривалий вплив шуму може спричинювати зниження гостроти слуху, ураження слухових шляхів, порушення серцево-судинної системи, швидко втому

та зниження концентрації уваги. Надмірна вібрація призводить до порушення периферичного кровообігу, остеоартрозних змін, появи вібраційної хвороби, а також може погіршувати точність виконання технологічних операцій. Окрім впливу на працівників, шум і вібрація негативно позначаються на роботі обладнання. Надмірний вплив цих факторів викликають передчасний знос підшипників, розгерметизацію фланцевих з'єднань, вібраційну ерозію теплообмінних трубок та розхитування фундаментних болтів.

Для зниження рівня шуму та вібрації на виробництві рекомендується встановлення віброізолюючих опор під насосами, регулярний контроль та своєчасна заміна підшипників і ущільнень, використання гнучких компенсаторів на трубопроводах, шумопоглинальних кожухів та акустичних матеріалів у приміщеннях. Організаційні заходи включають періодичний контроль рівнів шуму і вібрації, регламентовані міжремонтні огляди, обмеження часу перебування працівників у шумних зонах та відповідне маркування. Додатково застосовують засоби індивідуального захисту відповідно до ДСТУ EN 352-1:2018, ДСТУ EN 352-2:2018, а саме шумозахисні навушники або беруші. Комплексний підхід знижує шкідливий вплив виробничого шуму, вібрації та підвищує надійність обладнання.

5.3 Пожежна безпека

Виробництво каустичної соди пов'язано з використанням розчину аміаку, водяної пари та натрій гідроксиду. Це створює значний ризик пожежі, тому дотримання пожежної безпеки має важливе значення. Аміак, який застосовується в технологічному процесі, належить до горючих газів і за певної концентрації у повітрі утворює вибухонебезпечні суміші. Хоч каустична сода та вода є негорючими, але перебіг технологічних операцій супроводжується використанням електроприводів, нагрітих поверхонь та обладнання під високим тиском. З огляду на властивості аміаку та умови його застосування, відповідно до ДБН В.1.1-7:2024, приміщення виробництва належить до категорії Б за вибухопожежною небезпекою,

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 82
----------------------	------------	--------------	------------	-------------

оскільки у ньому можливе виділення горючого газу та утворення вибухонебезпечних пароповітряних сумішей [26].

Запобігання пожежам на такому виробництві ґрунтується на забезпеченні герметичності систем, у яких циркулює аміак, контролі запірної арматури та регулярній перевірці з'єднань і ущільнень. Для уникнення накопичення небезпечних концентрацій аміаку необхідна система датчиків для аналізу концентрації небезпечних речовин у повітрі поряд з апаратами, де використовується аміак. Важливим елементом є електробезпека — обладнання в зонах можливого виділення аміаку повинно відповідати вимогам вибухозахищеності, мати надійне заземлення та бути захищеним від перегріву. Нагріті поверхні випарників і трубопроводів повинні бути теплоізованими, щоб виключити можливість займання при раптовому викиді газу.

Для своєчасного виявлення небезпечних ситуацій приміщення необхідно оснастити автоматичною пожежною сигналізацією, яка включає димові та теплові сповіщувачі, а також газові датчики аміаку, що контролюють концентрацію його парів у повітрі. Автоматичне оповіщення має забезпечити своєчасне інформування персоналу про пожежу та передати сигнал системам аварійної вентиляції й блокування подачі аміаку. Для гасіння можливих загорянь аміаку або електрообладнання використовують вуглекислотні та порошкові вогнегасники типу ВП-5, ВП-9 та ВП-10 встановлених в ДБН В.1.1-7:2024, а також стаціонарні установки газового гасіння. Використання води у випадках взаємодії з концентрованою каустичною содою та під'єднаних апаратів до мережі є неприпустимим через інтенсивне тепловиділення, ризик ураження струмом та хімічних опіків.

У разі виникнення пожежі персонал повинен негайно зупинити подачу аміаку, вимкнути електроживлення технологічної ділянки, увімкнути аварійну вентиляцію та застосувати відповідний тип вогнегасника залежно від характеру займання. Працівники, які не задіяні у локалізації пожежі мають слідувати плану

евакуації з приміщення до відповідного евакуаційного виходу зазначеним за планом.

5.4 Мікроклімат

Оскільки технологічне обладнання розташоване на відкритому повітрі, мікрокліматичні умови визначаються природними факторами. На персонал впливають температура зовнішнього середовища, швидкість та напрям вітру, опади та сонячне випромінювання. Вимоги до мікроклімату регламентуються ДСН 3.3.6.042-99, при цьому контроль здійснюється не за температурою приміщення, а за умовами праці на відкритій місцевості, де допускається ширший діапазон температур. Влітку працівники можуть зазнавати теплового навантаження через високу температуру та пряме сонячне випромінювання, особливо поблизу випарника, трубопроводів гарячої пари та теплоізованих поверхонь. Взимку ризики пов'язані з переохолодженням, слизьким покриттям, льодоутворенням на майданчиках та зниженням рухливості механізмів через низькі температури.

Для забезпечення безпечного мікроклімату на відкритому майданчику необхідно застосовувати теплоізоляцію обладнання відповідно до ДБН В.2.5-67:2013, що мінімізує вплив гарячих поверхонь і зменшує ризик опіків. Місця підвищеної температури повинні бути позначені попереджувальними знаками. Працівники забезпечуються захисним одягом за сезонністю, включно з термостійкими рукавицями, спецвзуттям та захистом від атмосферних опадів. При виконанні робіт під час дощу, або при низькій температурі необхідно впроваджувати перерви для обігріву персоналу у спеціальних облаштованих приміщеннях на території виробництва.

Вентиляція природного типу забезпечує швидке розсіювання парів аміаку. Але одночасно це означає підвищену небезпеку перенесення хмари аміаку у бік персоналу при витoku, тому майданчик повинен бути оснащений спеціальними датчиками відповідно до ДСТУ EN 45544-1:2016 та сигналізацією з автоматичним

оповіщенням. У разі виявлення небезпечної концентрації працівники повинні негайно покинути небезпечну зону проти вітру та використовувати ізолюючі ЗІЗОД.

5.5 Надзвичайна ситуація

Надзвичайна ситуація на виробництві каустичної соди найчастіше пов'язана з раптовою розгерметизацією обладнання з аміаком. Пошкодження фланцевих з'єднань, зношення ущільнень або корозійні дефекти трубопроводів можуть спричинити вихід аміаку у вигляді газу або аерозолю, який швидко поширюється повітрям та утворює токсичну і вибухонебезпечну суміш. Перші ознаки аварії зазвичай фіксують датчики газового контролю, що дозволяє оперативно подати сигнал тривоги. У разі невеликих витоків, коли концентрація не перевищує 300 ppm та зберігається нормальний вміст кисню, персонал може виконати нагальні дії у фільтрувальних протигазах з патронами марки К відповідно до ДСТУ EN 14387:2021. Ці засоби захисту дозволяють безпечно відійти від небезпечної зони, перекрити подачу речовини або провести первинні заходи, однак вони непридатні для роботи у густій газовій хмарі або середовищі з ризиком вибуху. Решта працівників мають евакуюватися з небезпечної території відповідно до плану евакуації [27].

У разі більш інтенсивного витоку, коли концентрація аміаку перевищує 5000 ppm, ситуація стає значно небезпечнішою. У таких умовах фільтрувальні ЗІЗОД не забезпечують необхідного рівня захисту, так як втрачають ефективність при нестачі кисню та високій концентрації аміаку в атмосфері. Саме тому аварійно-рятувальні групи працюють виключно у ізолювальних протигазах та дихальних апаратах зі стисненим повітрям, які відповідають вимогам ДСТУ EN 136:2003 та ДСТУ EN 137:2017. Ці засоби дають можливість повноцінно дихати незалежно від складу навколишнього повітря, що критично важливо в умовах токсичних та вибухонебезпечних газових хмар. Додатково персонал використовує герметичні

стійкі до хімічної дії костюми відповідно до ДСТУ EN 943-1:2021, які захищають шкіру від контакту з аміаком та його розчинами. Аварійні бригади виконують локалізацію витoku, встановлення водяних завіс для осадження аміаку та контроль температури обладнання, що дозволяє зменшити ймовірність займання та забезпечити безпечні умови для подальших робіт. Паралельно з цим інформуються відповідні рятувальні служби МНС України за номером 101.

Найбільш небезпечний сценарій це аварія з подальшим вибухом аміаку. Через низьку енергію активації займання газ може спалахнути від іскри електродвигуна, статичної електрики або гарячих поверхонь випарного апарата. Вибух супроводжується ударною хвилею, яка може спричинити додаткові пошкодження трубопроводів і апаратів, що призведе до повторних витоків та посилення аварії. Після вибуху склад повітря стає непередбачуваним, оскільки окрім аміаку можуть бути присутні продукти горіння, пил, дим, речовини з інших апаратів тощо. Тому єдино дозволеним типом ЗІЗОД у таких ситуаціях є апарати зі стисненим повітрям (SCBA) у поєднанні з термостійким, вибухозахищеним та газонепроникним спецодягом. Використання фільтрувальних протигазів повністю заборонено, оскільки вони не забезпечують захист у середовищі з дефіцитом кисню та не фільтрують продукти вибуху.

Після вибуху або великого витoku оператори дистанційно перекривають подачу аміаку, зупиняють насоси та відключають електроживлення технологічної ділянки, мінімізуючи ризик повторного займання. Персонал, який не залучений до ліквідації наслідків, негайно евакуюється відповідно до евакуаційного плану в обладнане укриття. Роботи з ліквідації наслідків проводяться виключно під контролем систем газоаналізу, що визначають концентрацію аміаку у реальному часі. Такий підхід дозволяє запобігти вторинним вибухам, отруєнню персоналу та руйнуванню технологічного обладнання.

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апаратів

Монтаж мембранного та випарного апаратів повинен виконуватися відповідно до вимог нормативно-технічної документації, правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, а також експлуатаційної документації заводів-виробників. Опис цього розділу виконується відповідно до рекомендацій [28]. Перед початком монтажних робіт необхідно здійснити контроль обладнання: перевіряють його комплектність та документацію, перевірити апарати на наявність пошкоджень. Фундаменти під апарати повинні забезпечувати сприйняття маси обладнання разом із робочим середовищем, а також динамічних та вібраційних навантажень. Перед установленням апаратів перевіряють відповідність геометричних розмірів фундаменту та правильність розташування анкерних болтів. Монтаж апаратів здійснюють із застосуванням вантажопідіймальних механізмів із дотриманням схем стропування. Забороняється використовувати для закріплення вантажозахоплювальних елементи, які для цього не призначені (люки, штуцери тощо).

Мембранний апарат необхідно встановити у закритому приміщенні з контрольованими параметрами температури та вологості або в окремому захисному кожусі контейнерного типу при зовнішньому розміщенні. Перед початком монтажу корпус апарата та мембранні модулі повинні бути очищені від пилу, а мембрани зберігаються рекомендованому виробником середовищі. Апарат установлюють на раму. Під'єднання трубопроводів здійснюється через фланцеві з'єднання з використанням стійких ущільнень. Трубопроводи подачі розчину та відводу пермеату не повинні створювати додаткових механічних напружень у корпусі апарата. Перед введенням в експлуатацію проводять гідравлічне випробування робочим тиском, перевіряють герметичність з'єднань та справність контрольно-вимірювальних приладів.

Випарний апарат з природною циркуляцією встановлюється на індивідуальному залізобетонному фундаменті. Монтаж апарата починають із

встановлення корпусу з точним вивірюванням вертикальності за допомогою рівня та теодоліта. Після цього поступово монтують гріючу камеру, сепараційну частину, циркуляційну трубу. Перед пуском випарного апарата внутрішні поверхні необхідно очистити від сторонніх забруднень у вигляді пилу, машинного масла та сторонніх предметів. Після завершення монтажу виконують пневматичне або гідравлічне випробування на міцність і герметичність.

Експлуатація мембранного апарата повинна здійснюватися у межах допустимих значень тиску, температури та показника рН робочого середовища. Перевищення цих параметрів призведе до зменшення селективності та зниження терміну служби мембрани. У процесі експлуатації необхідно забезпечувати постійний контроль тиску на вході та виході мембранного блока, запобігати потраплянню механічних домішок шляхом попередньої фільтрації розчину, а також здійснювати періодичне хімічне промивання мембран відповідно до експлуатаційного регламенту.

Пуск випарного апарата здійснюється поступовим подаванням гріючої пари з одночасним контролем температури корпусу та тиску. Різких теплових ударів необхідно уникати, оскільки вони можуть привести до пошкодження трубного пучка. У процесі експлуатації необхідно контролювати температуру кипіння та тиск у корпусі, а також періодично здійснювати очищення теплообмінних поверхонь від накипу. Зниження коефіцієнта теплопередачі є основною ознакою забруднення поверхні труб і потребує проведення хімічної або механічної очистки.

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація спрямована на упорядкування в галузі через встановлення загальних положень для багаторазового використання. Уніфікація полягає у виборі оптимальної кількості продукції, процесів і послуг із визначенням їх параметрів. Стандартизовані й уніфіковані деталі знижують витрати на підготовку виробництва та підвищують його продуктивність, що оцінюється відповідними коефіцієнтами.

Апарат зворотного осмосу:

Загальна кількість деталей $N = 13$, з них стандартних $n_c = 8$ та уніфікованих $n_y = 4$.

Коефіцієнт стандартизації

$$K_c = \frac{n_c}{N} \cdot 100\% = \frac{8}{13} \cdot 100\% = 61,5\%$$

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності

$$K_y = \frac{n_c + n_y}{N} \cdot 100\% = \frac{8 + 4}{13} \cdot 100\% = 92,3\%$$

Випарний апарат:

Загальна кількість деталей $N = 38$, з них стандартних $n_c = 29$ та уніфікованих $n_y = 7$.

Коефіцієнт стандартизації

$$K_c = \frac{n_c}{N} \cdot 100\% = \frac{29}{38} \cdot 100\% = 76,3\%$$

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності

$$K_y = \frac{n_c + n_y}{N} \cdot 100\% = \frac{29 + 7}{38} \cdot 100\% = 94,7\%$$

Оскільки майже всі обрані деталі мембранного та випарного апаратів є стандартними, то і значення коефіцієнту стандартизації є досить високим для даних апаратів.

8 Стартап-проект

8.1 Опис ідеї стартап проекту

Ідея стартап-проекту «OptiRO Systems» полягає у створенні та впровадженні інноваційної системи зворотного осмосу зі значним зниженим гідравлічним опором у середньому на 50 % менше порівняно з аналогічними апаратами. Така конструктивна особливість забезпечує стабільну якість фільтрації до 98 % та дозволяє значно скоротити енергетичні витрати на процес очищення. Технологічна концепція передбачає можливість виготовлення установок будь-яких розмірів, що дає змогу інтегрувати систему у виробничі процеси різних підприємств. Створення проекту планується за кошти інвесторів, міжнародних та всеукраїнських грантів. Більш детальний опис наведено в таблиці 8.1, а розробка стартап-проекту проводиться згідно методик [29-39].

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея проекту полягає у створенні інноваційної системи зворотного осмосу зі зниженим на 50 % гідравлічним опором та якістю розділення до 98 %. Конструкція забезпечує можливість виготовлення установок будь-яких розмірів для інтеграції у промислові технологічні процеси. Зменшення опору дозволяє скоротити навантаження на насосне обладнання, знизити енергоспоживання та збільшити ресурс мембран. Система орієнтована на промислове очищення води та технологічних розчинів на підприємствах різного профілю.	Хімічні підприємства, що використовують очищену воду або технологічні розчини у виробничих операціях, можуть впроваджувати систему для покращення якості очищення	Стабільна якість фільтрації до 98 % забезпечує відповідність технологічним і санітарним нормам, а зменшений гідравлічний опір дозволяє знизити енерговитрати та навантаження на насосне обладнання, продовжуючи його ресурс. Завдяки цьому зменшуються витрати на обслуговування та заміну мембранних модулів, а конструктивна гнучкість системи забезпечує можливість її адаптації під специфічні вимоги конкретного виробництва.
	Харчова промисловість з високими санітарними вимогами отримує можливість забезпечити стабільну фільтрацію з мінімальними енергетичними витратами.	
	Фармацевтичні виробництва, що потребують високої чистоти розчинів та реагентів, можуть використовувати систему як інструмент для забезпечення якості середовищ	

У межах аналізу техніко-економічних переваг виконано попереднє порівняння основних характеристик проєкту з існуючими рішеннями на ринку. Порівняльний аналіз основних параметрів апаратів різних виробників наведено в таблиці 8.2 У якості українського аналога розглянуто продукцію компанії Ecosoft, що спеціалізується на промислових системах очищення води. Іноземними аналогами обрано виробників Pentair та Xylem Inc., які пропонують широкі лінійки обладнання для водоочищення, включно з мембранними технологіями.

Таблиця 8.2 – Визначення сильних, нейтральних та слабких сторін ідеї проєкту

Техніко-економічні характеристики	Компанії				W	N	S
	Мій проєкт OptiRO Systems	Ecosoft (UA)	Pentair (іноземний виробник)	Xylem Inc. (іноземний виробник)			
Гідравлічний опір	Знижений на 50 %	Середній	Середній/високий	Середній			+
Якість фільтрації	До 98 %	95-99 %	97 %	96 %		+	
Масштабованість конструкції	Будь-які розміри	Обмежена	Обмежена	Обмежена			+
Енергоефективність	Підвищена через менший опір	Залежить від серії	Стандартна	Стандартна			+
Ресурс мембран	Стандартний	Стандартний	Стандартний	Стандартний		+	
Сервісна доступність	Підтримка виробника	Висока	Висока	Висока		+	
Можливість адаптації під процес	Середня	Обмежена	Обмежена	Середня		+	

Узагальнене порівняння показує, що основними сильними сторонами проєкту є низький гідравлічний опір, гнучкість конструкції до масштабування, та енергоефективність. Слабких характеристик порівняно з обраними аналогами попередній аналіз не виявив, проте більш детальний огляд може їх проявити.

8.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Технологічний аудит спрямований насамперед для визначення можливості реалізації ідеї проєкту з урахуванням власних сил та можливої кооперації з іншими виробниками та компаніями, оскільки проєкт передбачає два типи технологічних процесів: ті, що виконуються власними силами стартапу у вигляді інженерних розрахунків, проектування та налагодження, а також ті, що потребують залучення сторонніх виробників для виготовлення апаратів та їх встановлення.

Результати аналізу наведено в таблиці 8.3

Таблиця 8.3 – Технологічна здійсненість ідеї проєкту

№	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Проведення інженерних розрахунків та підбір параметрів системи	Методики мембранних, гідравлічних, конструктивних розрахунків; CAD/CAE проектування	Технології повністю наявні	Доступні авторам проєкту, виконуються власними силами
2	Виготовлення, модулів, фільтрів та апаратної частини	Технології механічної обробки, зварювання, виробництва мембранних модулів.	Наявні, широко застосовуються на ринку	Доступні через партнерські виробництва, потребують зовнішнього виконання

Продовження таблиці 8.3

№	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
3	Монтаж та встановлення обладнання на підприємстві	Технології промислового монтажу фільтраційних систем, підключення насосного та трубопровідного обладнання	Технології повністю наявні	Виконується спільно з партнерами
4	Налагодження та оптимізація роботи системи	Технології автоматизованого контролю, тестування мембран, налаштування тиску й витрат	Технології повністю наявні	Доступні авторам, виконуються власними спеціалістами
5	Сервісне обслуговування (за потреби користувача)	Регламентні технології технічного огляду, заміни мембран, перевірок і профілактики	Технології повністю наявні	Виконується власними силами або разом з партнерами

Для реалізації проєкту було обрано комбінований технологічний підхід, де інженерна частина у вигляді розрахунків, проектування, налагодження та контролю якості виконується власними силами, а виготовлення апаратів здійснюється шляхом залучення промислових партнерів. Сервісне обслуговування може проводитися змішаним способом, що забезпечує гнучкість та високу якість експлуатації обладнання. Усі необхідні технології є доступними на ринку, добре відпрацьованими та не вимагають створення нових технологічних процесів, що підтверджує повну технологічну реалізацію.

8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей дає змогу оцінити передумови для впровадження інноваційної системи зворотного осмосу, зважаючи на стан ринку, потреби підприємств та силу конкурентного середовища. Ринок промислових систем очищення характеризується стабільним попитом, зростанням вимог до енергоефективності та модернізації обладнання, що створює сприятливі умови для впровадження технологій із зниженим гідравлічним опором.

У межах аналізу оцінено приблизну кількість основних конкурентів, обсяг ринку, його динаміку та бар'єри входу. Оскільки сегмент промислової фільтрації знаходиться у постійному розвитку через нові вимоги у хімічній, харчовій і фармацевтичній галузях, ринок загалом демонструє позитивну тенденцію. Результати наведено в таблиці 8.4

Таблиця 8.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Кількість головних гравців, од	В Україні — 3–5 виробників/постачальників; на міжнародному ринку — понад 20 великих компаній
Загальний обсяг продаж, грн/ум. од	Ринок демонструє стабільний ріст у сегменті промислових мембранних систем
Динаміка ринку	Зростає
Наявність обмежень для входу	Сертифікаційні вимоги, потреба демонстрації надійності обладнання, стандарти безпеки
Специфічні вимоги до стандартизації й сертифікації	ДСТУ, ISO, галузеві стандарти для хімічної, харчової та фармацевтичної промисловості
Середня норма рентабельності, %	Орієнтовно 15–25 %, ринок інвестиційно привабливий

Проведений аналіз свідчить, що ринок систем очищення є привабливим для входження через зростаючий попит та достатню рентабельність. Основні бар'єри входу стосуються вимог сертифікації та необхідності підтвердження надійності

обладнання, які легко проходяться в разі надійної інженерної підготовки проекту. Ринкове середовище є сприятливим для впровадження інноваційної системи зворотного осмосу.

Потенційними клієнтами є підприємства хімічної, харчової та фармацевтичної промисловостей, які потребують стабільного очищення технологічних середовищ та зниження собівартості виробництва. Це визначається вимогами до якості, енергоефективності, відповідності стандартам та тривалості роботи обладнання. Споживачі очікують від постачальника стабільності, сервісної підтримки та технічної надійності апарата. Ці складові описано в таблиці 8.5

Таблиця 8.5 Характеристика потенційний клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Стабільне очищення технологічних розчинів з мінімальними витратами енергії та ресурсів	Хімічні, харчові та фармацевтичні підприємства, що використовують мембранні технології	Залежність від технологічних стандартів галузі; жорсткі вимоги до якості очищення; необхідність стабільної роботи обладнання; чутливість до зростання енергоспоживання та експлуатаційних витрат	Висока стабільність фільтрації, низький гідравлічний опір, економія енергії, надійність і довготривала робота мембран; до постачальника — технічна підтримка, можливість сервісу, гнучкість адаптації під процес

При розробці стартап-проекту необхідно чітко встановлювати ключові фактори, що можуть становити загрозу (таблиця 8.6) або створити можливості для успішного розвитку проекту (таблиця 8.7).

Таблиця 8.6 Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Сертифікаційні та регуляторні вимоги	Можливе подовження строків виходу на ринок	Завчасне проходження сертифікації, підготовка документації
Конкуренція з боку міжнародних виробників	Домінування глобальних компаній на ринку та витіснення новачків	Нішеве позиціонування, індивідуальні рішення під клієнта
Недовіра до нового обладнання	Клієнти зі скепсисом відносяться до нової продукції	Пілотні впровадження, демонстрація ефективності
Військові дії	Перебої у логістиці, можливі зупинки виробництва партнерів, ризики для постачання матеріалів та обладнання	Диверсифікація постачальників, укладання контрактів з іноземними виробниками, можливість релокації частини процесів

Основні загрози пов'язані з необхідністю проходження сертифікації, конкуренцією та недовірою до нових компаній, однак їх можна нейтралізувати шляхом демонстрації технологічних переваг на реальних кейсах та відповідального ставлення до усіх вимог.

Таблиця 8.7 Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Зростання попиту на енергоефективні системи	Підприємства переходять на менш енергозатратні технології	Акцент на 50 % нижчому опорі системи порівняно з аналогами
Брак локальних виробників спеціалізованих RO-систем	Ринок частково залежить від імпорту	Заповнення ніші локальним продуктом

Продовження таблиці 8.7

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Можливість індивідуального проектування	Попит на адаптацію обладнання	Розробка рішень під конкретні процеси

Проект має значні можливості для зростання завдяки попиту на енергоефективність та нестачі локальних технологічних рішень. Наявність технічної гнучкості зміцнює конкурентну позицію стартапу навіть серед глобальних графців.

Необхідно провести аналіз пропозиції, а саме визначити загальні риси конкуренції, які в даний момент існують на ринку. Детальний аналіз наведено в таблиці 8.8

Таблиця 8.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції: олігополія	Ринок промислових систем фільтрації контролюється обмеженим числом великих виробників	Необхідно виділятися інноваційністю (низький опір), пропонувати індивідуалізацію під клієнта
Рівень конкурентної боротьби: міжнародна	На ринку присутні сильні іноземні бренди (Pentair, Xylem, ін.)	Формувати конкурентну перевагу за рахунок енергоефективності та локальної адаптації
Галузева ознака: міжгалузева	Система може використовуватися у хімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості	Розширення ринку збуту через універсальність системи та можливість різних модифікацій

Продовження таблиці 8.8

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Конкуренція за видом товару: товарно-видова	Присутні різні типи фільтраційних установок, у т.ч. традиційні RO з високим опором	Позиціювати продукт як енергоощадну альтернативу з продовженим ресурсом обладнання
Характер конкурентних переваг: нецінова	Ціна часто формується великими корпораціями, де нецінові переваги стають ключовими	Робити акцент на технічній ефективності, економії енергії та стабільності очищення
Інтенсивність конкуренції: середня	Попит стабільний, але компаній обмежена кількість	Потрібно активно працювати з клієнтами, пропонувати сервісну підтримку і гарантії
Марочність: марочний ринок	У промислових системах бренд має не менше значення, ніж технічні параметри	Фокусуватися на демонстрації технічних переваг та реальних економічних вигод, займатися піаром продукту

Ринок промислових систем очищення рідин характеризується середньою конкуренцією, домінуванням кількох великих міжнародних виробників та наявністю локальних постачальників. Конкурентне середовище вимагає від компанії технологічної новизни, цінової гнучкості та здатності адаптувати обладнання під індивідуальні потреби. Інноваційна система зі зниженим гідравлічним опором дає змогу зайняти нішу, де перевага визначається енергоефективністю та якістю технічної інтеграції.

Далі проведемо поглиблений аналіз конкуренції за моделлю 5 сил М. Портера, що дозволить краще зрозуміти стан сучасного ринку. Результати аналізу наведено в таблиці 8.9

Таблиця 8.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Характеристика	На ринку присутні декілька виробників мембранних систем (Ecosoft, Pentair, Xylem). Конкуренція середня: продукти схожі, але твоя технологія має унікальні переваги.	Існує можливість входу нових інженерних компаній, але поріг входу підвищений через технологічні вимоги та необхідність сертифікації.	Постачальники мембран, насосів і металоконструкцій частково можуть диктувати умови, але їх багато, тому сила впливу помірна.	Клієнти (промислові підприємства) можуть вимагати високу якість та гарантії, але залежні від надійних рішень і не завжди мають альтернативи.	Замінники — традиційні RO-системи зі стандартним опором. Вони доступні, але менш ефективні, тому загроза заміщення середня.
Висновок	Інтенсивність конкуренції помірна, але існує нішевий простір завдяки інноваційній конструкції.	Бар'єри входу стримують більшість потенційних конкурентів.	Контроль постачальників не критичний для проєкту.	Споживачі вимогливі, але зацікавлені у зниженні витрат і стабільності роботи.	Товар-замінники не становлять критичної загрози через нижчу ефективність.

На основі аналізу конкуренції, а також із урахуванням характеристик ідеї проєкту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища необхідно визначити та обґрунтувати перелік факторів конкурентоспроможності на ринку

Результат аналізу наведено в таблиці 8.10

Таблиця 8.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (чинник, що робить фактор значущим для порівняння конкурентних проєктів)
Низький гідравлічний опір системи	Зменшує енергоспоживання та навантаження на насосне обладнання, що забезпечує конкурентну перевагу за витратами.
Висока якість фільтрації (до 98 %)	Дозволяє відповідати технологічним і санітарним вимогам галузей, що підвищує цінність обладнання для підприємств.
Масштабованість конструкції	Забезпечує адаптацію до будь-яких виробничих умов та обсягів, що розширює ринкову привабливість проєкту.
Гнучкість сервісної моделі	Можливість обслуговування власними силами або партнерами під контролем стартапу підвищує надійність і зручність для клієнта.
Взаємодія з виробниками для виготовлення обладнання	Дозволяє знизити витрати на виробничу інфраструктуру та швидко масштабувати випуск установок.
Стійкість до ринкових ризиків (у т. ч. економічна нестабільність і війна)	Гнучка коопераційна модель і можливість зміни виробничих партнерів знижує залежність від локальних ризиків та підвищує стійкість проєкту.

Описані фактори конкурентоспроможності підтверджують, що проєкт має суттєві технологічні переваги порівняно з аналогами. Поєднання низького гідравлічного опору, високої якості фільтрації, масштабованості та гнучкої моделі співпраці дозволяє формувати стійку позицію проєкту на цільових ринках. Урахування ринкових ризиків у вигляді економічної нестабільності та воєнних умов дозволить утримати позиції на ринку за рахунок переваг.

Після визначення основних факторів конкурентоспроможності необхідно проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проєкту у порівнянні з головними потенційними конкурентами

Результати аналізу сильних та слабких сторін наведено в таблиці 8.11

Таблиця 8.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «OptiRO Systems»

Фактор конкурентоспроможності	Бали (1–20)	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Низький гідравлічний опір системи	18	E, P, X						
Висока якість фільтрації (до 98%)	17			E	P, X			
Масштабованість конструкції	16	E, P, X						
Гнучкість сервісної моделі	14		E	P, X				
Взаємодія з виробниками для виготовлення обладнання	12			E	P, X			

Позначення:

E – Ecosoft;

P – Pentair;

X – Xylem.

Стартап демонструє сильні конкурентні позиції за всіма ключовими факторами, особливо щодо гідравлічного опору та масштабованості конструкції. Конкуренти поступаються за більшістю характеристик, що формує стійку перевагу на промисловому ринку. Загальна структура оцінок свідчить про високий потенціал конкурентоспроможності проєкту.

Фінальним етапом аналізу ринкових умов для впровадження проєкту є формування SWOT-матриці, у якій узагальнюються сильні (Strength) і слабкі (Weak) сторони, а також можливості (Opportunities) та загрози (Threats), визначені під час оцінки ринкових можливостей, бар'єрів і конкурентного середовища. Результати наведено в таблиці 8.12

Таблиця 8.12 SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Низький гідравлічний опір, економія енергії. Модульна конструкція, швидке обслуговування. Менші вимоги до насосів завдяки зниженню втрат тиску. Підвищена надійність у військових умовах. Масштабованість для побутових і промислових застосувань.	Слабкі сторони: Висока собівартість на етапі R&D. Залежність від постачальників комплектуючих. Необхідність сертифікації (затрати часу й коштів). Низька впізнаваність бренду. Невелика команда спричиняє високий тиск на розробку.
Можливості: Попит через війну та дефіцит якісної води. Доступ до грантів (USF, USAID, Horizon). Використання у військових мобільних станціях. B2B-сегменти: агро, харчова промисловість, HoReCa. Потенціал експорту у країни з нестачею води.	Загрози: Популярність іноземних компаній. Подорожчання обладнання та логістики через війну. Цінова конкуренція на ринку RO. Регуляторні бар'єри. Перебої електрики, інфраструктурні ризики.

На основі результатів SWOT-аналізу формуються можливі варіанти ринкової стратегії, що визначають шляхи виходу стартапу на ринок. Кожна альтернатива оцінюється з позиції доступності необхідних ресурсів та очікуваних строків реалізації.

Узагальнений перелік таких альтернатив представлено в таблиці 8.13

Таблиця 8.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів ринкової поведінки)	Імовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Вихід на цивільний ринок (домашні RO-системи), акцент на енергоефективності, партнерство з локальними магазинами техніки.	Висока	Короткі (від 6 місяців до 1 року)
Пріоритетний запуск у військовому секторі: мобільні станції очищення води, співпраця з волонтерськими фондами та МОУ.	Висока	Короткі (від 6 місяців до 1 року)
Вихід у B2B-сегмент (агро, харчова промисловість, HoReCa) з промисловою модифікацією системи та сервісним контрактуванням.	Середня	Довгі (від 5 років)

Було обрано альтернативу пов'язану з виходом на цивільний ринок у вигляді домашніх систем через поступове зростання популярності даного виду фільтрації. При цьому строк реалізації є коротким.

Альтернативу з військовим сектором було визнано високопотенційним, але ризиковим через сукупність факторів, основними із яких є постійна зміна методів війни та складність встановлення і обслуговування системи в польових умовах.

8.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Важливо розглянути та проаналізувати групи потенційних споживачів та визначити їх потреби, зацікавленість в послугі та простоті виходу на певний ринок збуту.

Результати аналізу наведено в таблиці 8.14.

Таблиця 8.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприймати продукт	Орієнтовний попит у межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Хімічні виробництва	Висока – критична потреба в чистих розчинах та воді	Високий, постійний	Середня	Середня (вимагає технічних обґрунтувань)
Фармацевтичні підприємства	Висока – вимоги до якості води надзвичайно високі	Середньо-високий	Висока	Низька–середня (сертифікації, GMP-вимоги)
Харчові підприємства	Висока – вимоги до якості води високі	Високий	Середня	Середня (потрібні тестування та демонстрації)
Побутові та приватні користувачі	Середня – залежить від довіри	Високий	Висока	Висока (легкий вхід, але висока конкуренція)

В першу чергу необхідно орієнтуватися на першу групу клієнтів у вигляді хімічних виробництв, оскільки саме для них першочергово і створювалася система зворотного осмосу. Попит залишається високим через критичну потребу чистих розчинів та води.

Для роботи в даному сегменті ринку було створено базову стратегію розвитку проекту та наведено в таблиці 8.15

Таблиця 8.15 Базова стратегія розвитку проєкту

Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Вихід на промислові сегменти (хімічні та харчові підприємства) з інноваційною RO-системою	Селективне охоплення ринку (зосередження на кількох конкретних сегментах)	Підвищена енергоефективність та нижчий гідравлічний опір Вища надійність та стабільність показників очищення. Можливість адаптації обладнання під технологічні процеси клієнта	Стратегія диференціації

Було обрано стратегію диференціації, оскільки апарат зворотного осмосу планує конкурувати не ціною, а високими технічними характеристиками: зменшений гідравлічний опір, покращена енергоефективність, гнучкість налаштування та сервісна підтримка.

Далі необхідно визначити стратегію конкурентної поведінки.

Аналіз проведено в таблиці 8.16.

Таблиця 8.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект “першопрохідцем” на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів або існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні. Ринок RO-систем сформований, існують численні аналоги.	Комбінація: вихід на нові сегменти (хімвиробництва, харчові підприємства) та часткове перетягування клієнтів за рахунок технічних переваг.	Частково — базові параметри RO збережено, але система вдосконалена (нижчий гідравлічний опір, енергоефективність, довговічність, адаптивність).	Стратегія наслідування лідеру з елементами нішевої стратегії

Обрана стратегія конкурентної поведінки ґрунтується на тому, що стартап не є першопрохідцем у сформованому ринку мембранного очищення і тому доцільно діяти як послідовник лідерів, пропонуючи технологічно вдосконалений продукт із реальними перевагами. Найефективнішим підходом є поєднання нішевої орієнтації на промислові сегменти з частковим переманюванням клієнтів за рахунок кращих технічних характеристик.

Виходячи з вимог споживачів обраних сегментів до постачальника і самого продукту, а також з урахуванням обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки формується стратегія позиціонування.

Аналіз наведено в таблиці 8.17

Таблиця 8.17 Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції апарата стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати ринкову позицію
Висока стабільність якості очищеної води. Надійність і безвідмовність у технологічних процесах. Енергоефективність, мінімальні експлуатаційні витрати. Можливість адаптації під вимоги виробництва. Простота технічного обслуговування.	Стратегія диференціації	Знижений гідравлічний опір і краща енергоефективність порівняно з аналогами. Підвищена довговічність мембран та конструктивних елементів. Стабільна якість очищення навіть при змінних умовах води. Гнучкість конфігурації під потреби різних сегментів. Зручність сервісу та швидка заміна модулів.	«Інноваційність та технологічність». «Надійність і стабільність результату». «Економія ресурсів і енергії». «Професійний апарат для серйозних задач».

Сформована стратегія позиціонування визначає стартап як технологічно вдосконалений та енергоефективний продукт, орієнтований на вимогливі промислові сегменти. Обрані асоціації підсилюють диференціацію та забезпечують чітке сприйняття бренду на ринку. Це створює конкурентну перевагу та підвищує довіру потенційних клієнтів.

8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Початковим етапом є визначення маркетингової концепції товару, який буде запропонований споживачам. Для цього необхідно узагальнити результати попереднього аналізу конкурентоспроможності продукту.

Результати узагальнення наведено в таблиці 8.18

Таблиця 8.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або ті, що потрібно створити)
Стабільна якість очищеної води	Гарантовані показники очищення навіть при змінній якості вхідної води	Знижений гідравлічний опір, стабільність процесу, точне відтворення параметрів
Зменшення витрат на експлуатацію	Економія електроенергії та довший строк служби мембран	Більш енергоефективна конструкція, оптимізований потік
Надійність у виробничих умовах	Менший ризик зупинки процесів, менша кількість поломок	Підсилена конструкція, модульність та якісні матеріали
Просте обслуговування	Швидка заміна модулів, менше сервісних дій	Модульна компоновка, доступність елементів

Узагальнення вигід показує, що ключовими перевагами є стабільність очищення, енергоефективність, надійність за рахунок міцності конструкції та просте обслуговування. Ці характеристики чітко резонують із потребами промислових сегментів. Такий набір переваг формує сильний фундамент для ринкової пропозиції.

Далі формується трирівнева маркетингова модель товару, у межах якої уточнюють концепцію продукту чи послуги, визначають їх основні характеристики та специфіку процесу надання.

Трирівнева маркетингова модель товару наведена в таблиці 8.19

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 108
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

Таблиця 8.19 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Задовольняє потребу у стабільній, очищеній воді високої якості для технологічних і побутових цілей. Функціональні вигоди: менші втрати тиску, економія енергії, стабільність процесу, довговічність.
II. Товар у реальному виконанні	Властивості: 1. Ступінь очищення – 98%; 2. Максимальний тиск – 6 МПа; 3. Знижений гідравлічний опір; 4. Підвищена енергоефективність.
	Якість: Виготовлений з міцної антикорозійної сталі 12X18H10T відповідно до норм ДСТУ, що забезпечує довговічність роботи обладнання.
	Пакування: Пакування обладнання відповідно до ДСТУ, технічна документація
	Марка: 1. Назва стартапу: «OptiRO Systems» 2. Логотип: 
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Розробка відповідно до потреб замовника, консультація для оптимального підбору.
	Після продажу: Гарантія на обладнання, сервісна підтримка, консультація щодо питань експлуатації.
Захист від копіювання: Патент на структуру мембранного модулю	

Побудована трирівнева модель товару демонструє, що продукт має високі технічні показники та високий рівень сервісної підтримки. Це підвищує цінність товару для споживача та полегшує інтеграцію у виробничі процеси та подальшу експлуатацію.

Наступним етапом є встановлення орієнтовних цінових меж, яких слід дотримуватися під час формування ціни на потенційний товар. Значення цих меж подано в таблиці 8.20.

Таблиця 8.20 Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар / послугу
35 000 – 55 000 грн (базові RO-системи для побуту/малих процесів)	65 000 – 110 000 грн (промислові RO-системи з продуктивністю 0.25–0.5 м³/год)	Середній–високий (підприємства можуть інвестувати 100–300 тис. грн у водоочистку)	Нижня межа: 60 000 грн (не нижче аналогів) Верхня межа: 110 000–120 000 грн (цінова премія за енергоефективність та довговічність)

Визначені цінові межі показують, що OptiRO Systems може зайняти позицію у верхньому сегменті серед аналогів, обґрунтовуючи це технічними перевагами. Обрана цінова стратегія дозволяє зберігати конкурентність та забезпечувати прийнятну маржу. Такий підхід збалансовує цінність продукту та платоспроможність цільових клієнтів.

Наступним етапом є вибір оптимальної системи збуту. Узагальнені рішення щодо її формування подано в таблиці 8.21.

Таблиця 8.21 Формування системи збуту

Специфіка поведінки цільового клієнта	Функції збуту, які має забезпечувати постачальник	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Промислові підприємства потребують технічного обґрунтування та сервісу	Консультації, підбір конфігурації, технічний супровід, встановлення	Прямий канал	Прямий збут + техпідтримка
Побутові користувачі – орієнтація на зручність і доступність	Продаж, доставка, сервіс, встановлення	Прямий канал	Через дилерів / онлайн магазини

Сформована система збуту враховує різну поведінку промислових і побутових клієнтів, забезпечуючи прямі канали збуту для кожного сегмента. Прямі продажі дозволяють ефективно працювати з виробництвами, тоді як дилери забезпечують доступність для побутових користувачів. Така структура підвищує охоплення ринку та мінімізує бар'єри входження.

Завершальним елементом маркетингової програми є формування концепції маркетингових комунікацій, яку будують на основі обраного позиціонування та враховуючи особливості поведінки цільових клієнтів.

Концепцію маркетингових комунікацій наведено в таблиці 8.22

Таблиця 8.22 Концепція маркетингових комунікацій

Цільова аудиторія	Рекламні завдання	Зміст рекламного повідомлення	Засоби рекламного впливу
Промислові підприємства (хімія, харчова, фарма)	Пояснити технічні переваги	Нижчий гідравлічний опір, економія енергії, стабільність	Презентації, технічні консультації, виставки

Продовження таблиці 8.23

Цільова аудиторія	Рекламні завдання	Зміст рекламного повідомлення	Засоби рекламного впливу
Побутові користувачі	Продемонструвати легкість використання	Чиста вода, економія, простота встановлення	Онлайн-реклама, точки продажу, відео

Комунікаційні заходи орієнтовані на демонстрацію технічних переваг продукту та формування довіри до бренду. Для промислових клієнтів акцент зроблено на технічні аргументи, для побутових — на простоту та зручність. Такий підхід забезпечує цілеспрямоване охоплення та підсилює позиціонування стартапу.

8.6 Висновки

Проведений аналіз дає підстави стверджувати, що стартап «OptiRO Systems» має реальні можливості ринкової комерціалізації, оскільки в обраних сегментах існує стійкий попит на енергоефективні системи зворотного осмосу, а динаміка ринку та рівень рентабельності дозволяють конкурувати з наявними виробниками.

Перспективи впровадження підтверджуються вимогами описаних галузей, де високі стандарти очищення води створюють сприятливі умови для входження, а технічні переваги продукту забезпечують конкурентоспроможність за рахунок енергоефективності, стабільності процесу та знижених експлуатаційних витрат порівняно з аналогами.

Аналіз ринкових альтернатив показав, що найбільш доцільним є поетапне впровадження з фокусом на промислові сегменти, використовуючи стратегію диференціації та нішевий підхід. Така модель дозволяє мінімізувати ризики й водночас посилити позиціонування за рахунок технологічних переваг продукту.

З огляду на отримані результати, подальша імплементація проєкту є доцільною, оскільки продукт володіє стабільними конкурентними перевагами, а структурована маркетингова програма забезпечує можливість поступового масштабування та закріплення на ринку.

Висновки

У магістерській дисертації на тему «Модернізація установки виробництва каустичної соди з розробкою випарного апарата та апарата зворотного осмосу» виконано модернізацію технологічної установки шляхом упровадження мембранного етапу очищення та концентрування каустичного розчину перед стадією випаровування.

У ході виконання магістерської дисертації проведено аналіз технологічного процесу виробництва каустичної соди, обґрунтовано вибір типів апаратів і їх розміщення в технологічній схемі. Наведено технічну характеристику апарата зворотного осмосу та випарного апарата, виконано обґрунтування вибору їх конструкцій, описано принцип дії основних складальних одиниць і деталей, а також здійснено порівняння основних техніко-економічних показників розроблених апаратів з існуючими аналогами. Проведено патентні дослідження конструкцій апаратів.

Виконано модернізацію установки з використанням методів математичного моделювання, що дозволило оцінити вплив запропонованих змін на гідродинамічні та енергетичні показники процесу. Проведені розрахунки підтверджують працездатність і надійність розроблених конструкцій апаратів. Визначено рівень стандартизації та уніфікації елементів обладнання.

Графічна частина проєкту виконана з використанням програмних засобів AutoCAD, SOLIDWORKS та FreeCAD і містить принципову технологічну схему установки – А1, випарний апарат – А0, гріюча камера – А1, установка зворотного осмосу – А1, мембранний апарат – А1, рама – А1, схему автоматизації – А1, а також плакати з результатами наукових досліджень. До складальних креслень розроблено специфікації.

За результатами виконання магістерської дисертації представлено чотири тези доповідей на наукових конференціях.

Conclusion

In the master's thesis titled "Modernization of a Caustic Soda Production Unit with the Development of an Evaporator and a Reverse Osmosis Apparatus", the technological unit was modernized through the implementation of a membrane stage for purification and concentration of the caustic solution prior to the evaporation stage.

During the preparation of the master's thesis, an analysis of the caustic soda production process was carried out, and the selection of apparatus types and their placement within the technological scheme was substantiated. The technical characteristics of the reverse osmosis apparatus and the evaporator were presented, the choice of their designs was justified, and the operating principles of the main assemblies and components were described. In addition, a comparison of the main techno-economic indicators of the developed apparatuses with existing analogues was performed. Patent studies of the apparatus designs were conducted.

The modernization of the unit was carried out using mathematical modeling methods, which made it possible to evaluate the influence of the proposed changes on the hydrodynamic and energy performance of the process. The performed calculations confirm the operability and reliability of the developed apparatus designs. The level of standardization and unification of equipment elements was determined, and an automatic process control scheme was developed.

The graphical part of the project was prepared using AutoCAD, SOLIDWORKS, and FreeCAD and includes a process flow diagram of the unit (A1), an evaporator (A0), a heating chamber (A1), a reverse osmosis unit (A1), a membrane apparatus (A1), a supporting frame (A1), an automation scheme (A1), as well as posters presenting the results of scientific research. Specifications were developed for the assembly drawings.

As a result of the master's thesis, four conference abstracts were presented at scientific conferences.

ЛМ41мн.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 115
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

Перелік посилань

1. B. K. Singh and S. K. Jain (2016) Potassium Chloride: Production, Properties, and Applications. – 336 P.
2. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. – 4th ed. – Vol. 1. – New York: John Wiley & Sons, 2001. – 950 p.
3. Richard W. Baker (2000) Membrane technology and applications. – 545 P.
4. Процеси та обладнання хімічної технології : підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок та ін. — К. : НТУУ «КПІ», 2011. — Ч. 1. — 300с.
5. Розрахунок та конструювання основних елементів посудин та апаратів: вимоги до розрахунково-графічної роботи [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньо-професійної програми «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв» / Ігор Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 97 с.
6. YOU Shisen, QIU Hailin та ін. Composite reverse osmosis membrane material : пат. CN 120132623A / QUANZHOU VOCATIONAL & TECHNICAL UNIV. — Китай. — № CN 202510636443A; заявл. 17.05.2025; опубл. 13.06.2025.
7. GAO Ming, LI Li та ін. Reverse osmosis concentrated water recovery device : пат. CN 120132445A / SHANDONG SANCAI ENVIRONMENTAL PROTECTION TECH CO LTD. — Китай. — № CN 202510628892A; заявл. 16.05.2025; опубл. 13.06.2025.
8. WANG Ming, WU Chao та ін. Reverse osmosis membrane as well as preparation method and application thereof : пат. CN 120115012A / BLUE STAR HANGZHOU MEMBRANE IND CO LTD. — Китай. — № CN 202510601748A; заявл. 12.05.2025; опубл. 10.06.2025.
9. YU Zunjun, LUO Zhichao, YANG Cheng та ін. Parallel multistage reverse osmosis ultrapure water preparation system : пат. CN 120097455A / SHENZHEN

PURE WATER NO 1 TECH CO LTD. — Китай. — № CN 202510590471A; заявл. 08.05.2025; опубл. 06.06.2025.

10. YOU Shisen, WEN Shengkai, XU Long та ін. Modification and filtration integrated device and reverse osmosis composite membrane preparation method thereof : пат. CN 120081570A / QUANZHOU VOCATIONAL & TECHNICAL UNIV. — Китай. — № CN 202510571495A; заявл. 06.05.2025; опубл. 03.06.2025.
11. LYU Haiyong, ZHANG Jingyi та ін. Falling film evaporator and distributor thereof : пат. CN 120324925A / ZHEJIANG BOKÉ HEAT EXCHANGE TECH CO Ltd. — Китай. — № CN 202510502186A; заявл. 21.04.2025; опубл. 18.07.2025.
12. SUN Jianfeng, XIAO Daming та ін. Evaporator for continuous melt polymer heating falling film light component removal : пат. CN 120393469A / CHINA TIANCHEN ENG CORP. — Китай. — № CN 202510566868A; заявл. 30.04.2025; опубл. 01.08.2025.
13. WANG Tao, FANG Mengxiang та ін. Intelligent liquid distribution equipment for falling-film evaporator and use method of intelligent liquid distribution equipment : пат. CN 119733255A / UNIV ZHEJIANG; XIZI CLEAN ENERGY EQUIPMENT MFG CO LTD. — Китай. — № CN 202510027779A; заявл. 08.01.2025; опубл. 01.04.2025.
14. WANG Sanjun. Falling film evaporator based on heat exchange tube enhanced heat transfer technology : пат. CN 120550425A / JIANGSU ZONGHENG CONCENTRATION & DRYING EQUIPMENT CO LTD. — Китай. — № CN 202511067910A; заявл. 31.07.2025; опубл. 29.08.2025.
15. YU Miao, XU Yanjie, WU Haiqian та ін. Intelligent falling-film evaporator equipment with multi-stage liquid distribution function and using method of intelligent falling-film evaporator equipment : пат. CN 120532148A / XIZI CLEAN ENERGY EQUIPMENT MFG CO LTD. — Китай. — № CN 202510762917A; заявл. 09.06.2025; опубл. 26.08.2025.

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 117
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

16. Гулієнко С. В. Моделювання процесів мембранного розділення : практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спец. 133 «Галузеве машинобудування», спец. «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв» / С. В. Гулієнко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. — 104 с. — Текстові дані (1 файл : 2,27 Мбайт).
17. І. А. Андреев, О. А. Новохат, Практикум з навчальної дисципліни «Розрахунок і конструювання елементів папперобних і картоноробних машин» [Електронний ресурс]: / НТУУ „КПІ”; уклад— Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 127 с.
18. Конструювання і розрахунок елементів тонкостінних посудин та апаратів, які знаходяться під зовнішніми навантаженнями [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» / І. А. Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Електронні текстові дані (1 файл: 6,65 Мбайт). — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 121 с.
19. Процеси та обладнання хімічних технологій. Частина 1. [Електронний ресурс]: практикум : навч. посіб. для ступеня бакалавра за освіт. Програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спец. 133 Галузе машинобудування / Корнієнко Я.М. Степанюк А.Р., Гулієнко С.В., Гайдай С.С., Семінський О.О. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 468 с.
20. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском: навч. посіб./ — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 272 с. — 300 пр.
21. Конструювання і розрахунок елементів тонкостінних посудин та апаратів, які знаходяться під зовнішніми навантаженнями [Електронний ресурс] : навч.

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 118
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» / І. А. Андреєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,65 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 121 с.

22. Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності “Галузеве машинобудування” (Спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв) з дисципліни “Розрахунок і конструювання типового обладнання – 1. Розрахунок і конструювання тонкостінних посудин, опор та стропових пристроїв”: [Електронний ресурс]: НТУУ „КПІ”; уклад. І. А. Андреєв. – Київ: НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2017. – 105 с.
23. Охорона праці та цивільний захист. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра. за освітньою програмою: Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів. Хімічні технології органічних речовин. Хімічні технології неорганічних речовин і водоочищення. спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. О. Полукаров, Н. А. Праховнік, О. В. Землянська. - Електронні текстові дані (1 файл: 6.79 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 306 с.
24. Розділ з охорони праці в дипломних роботах: Рекомендації до виконання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» (зварювальні та споріднені спеціалізації) / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. Г. Левченко. – Електронні текстові дані (1 файл: 108 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 28 с.
25. Охорона праці та цивільний захист. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 101 «Екологія», 131«Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Н. Ф. Качинська,

- О. В. Землянська, А. І. Ковтун – Електронні текстові дані (1 файл 5,95 Мбайт).
– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 136 с.
26. Охорона праці та пожежна безпека. Організація, вимоги до структури, змісту та оформлення у дипломному проєкті освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» студентів КПІ ім. І. Сікорського [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ спеціальностей 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 144 «Теплотехніка» денної та заочної форми навчання / КПІ ім. Ігоря Сікорського; укл.:Л. Третякова, Л. Мітюк. Електронні текстові дані (1 файл: 380 КБ). – Київ : КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2020. – 58 с.
27. Kocsis Z., Dobor J., Kórodi G., Kuk E. Industrial Safety Analysis of Accidents Involving Ammonia, with Special Regard to Cold-Storage Facilities. — AARMS, Vol. 14, No. 3, 2015. — P. 273–284.
28. Мікульонюк І. О., Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв [Текст] : підруч.для студ. вищ. навч. закл. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 419 с.: іл. – Бібліогр.: с. 413–415.
29. Маркетинг стартап-проєктів : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
30. Розроблення стартап-проєкту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28 с.
31. Semeniuk, S., Levytskyi, V., Fomina, O., Fedorchenko, K., Yudina, N., Ratynskiy, V., Shcherbatiuk, O., Bendiuh, V., & Zhurakivska, Y. (2024). Overcoming barriers to digitalization of small and medium-sized enterprises under martial law. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(13 (129), 57–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304997>
<https://journals.urau.ua/eejet/article/view/304997> .

ЛМ41мн.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 120
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

32. Yudina N. V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. 3’2017, P. 245-256. DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
33. Yudina, N. Economic “Butterfly” and Futurology of the War in Ukraine. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №23 (2022). PP. 77-82. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.23.2022.264637>.
34. Yudina, N. Algorythm Of Marketing Decision Making. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №22 (2022). PP. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.22.2022.260163>.
35. Yudina, N. Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №19 (2021). PP. 1-9 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>.
36. Yudina, N., Pidlisna, O. Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.18.2021.238105>.
37. Yudina, N., Instrumenty Zarządzania Przyszłością. Marketing Instytucji Naukowych I Badawczych, Vol. 38, Issue 4,, 2020, Sieci Badawczej Łukasiewicz

/М41мн.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 121
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

– Instytutu Lotnictwa. Poland, Warszawa, p. 1-19 ISSN 2353-8503 eISSN 2353-8414. http://minib.pl/wp-content/uploads/2020/12/4-Yudina_pl.pdf. DOI: 10.2478/minib-2020-0027.

38. Yudina, N. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/>

39. Мікульонок І. О. Інтелектуальна власність та патентознавство [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за технічними спеціальностями / І. О. Мікульонок ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. — 248 с. — Бібліогр.: с. 241–242. — Електронні текстові дані (1 файл : 3,62 Мбайт).

Додаток А

Автоматизація технологічного процесу виробництва каустичної соди

Відповідальна організація КПІ ім. Ізгоря Сікорського	Технічне узгодження Новохат О.А.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФАПІЄ	Розробник документа Семенов Д.П.	Назва, додаткова назва Автоматизація установки виробництва каустичної соди		ЛМ41мп.066131.001 ПЗ			
	Документ затверджено Жученко О.А.			Інд. змін	Дата видання 10.12.2025	Мова UA	Аркуш 124

Вступ

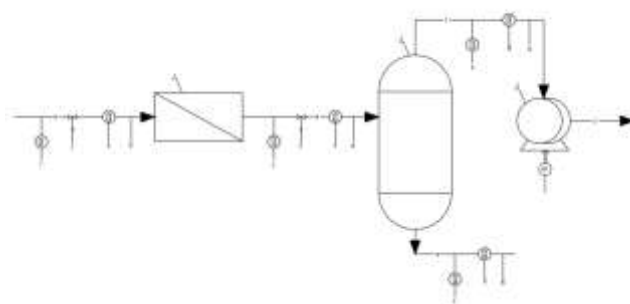
Автоматизація технологічних процесів є важливим напрямом розвитку хімічної промисловості для забезпечення контролю роботи обладнання, що в свою чергу забезпечує високу якість продукту та знижує енерговитрати. У виробництві каустичної соди, де мембранне розділення та випарювання є важливими процесам і досить чутливими до змін режиму, автоматичні системи контролю відіграють суттєву роль.

Використання сучасних мікропроцесорних засобів дає змогу в режимі реального часу відстежувати параметри процесу, коригувати їх та підтримувати оптимальні умови роботи апаратів

Метою даного розділу є представлення основних принципів контролю і керування, що застосовуються в установці для виробництва каустичної соди, з акцентом на методах збору даних, обробці та контролю.

А.1 Опис технологічної схеми виробництва каустичної соди

Схема автоматизації блоку технологічного процесу виробництва каустичної соди зображено на рисунку А.1



1 – апарат зворотного осмосу; 2 – випарний апарат; 3 – насос

Рисунок А.1 – Схема автоматизації блоку технологічного процесу виробництва каустичної соди

В апарат зворотного осмосу подається розчин NaOH під тиском 6 МПа, температурою 25°C та продуктивністю 5 кг/с. В самому апараті відбувається очищення розчину від солей та домішок, звідки пермеат подається до випарного апарату під тиском 0,2 МПа, температурою 60 °C та продуктивністю 2,78 кг/с. Після випарювання з верхньої частини випарного апарата виходить водяна пара під тиском 0,1 МПа, температурою 56 °C та продуктивністю 0,02 кг/с. З нижньої в свою чергу виходить очищений розчин аміаку під тиском 0,2 МПа, температурою 59 °C та продуктивністю 2,1 кг/с

А.2 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації

Перелік параметрів, які підлягають автоматичному регулюванню:

- 1) температура розчину NaOH перед входом у мембранний апарат;
- 2) температура очищеного розчину перед входом у випарний апарат.

Перелік параметрів, які підлягають сигналізації та контролю:

- 1) температура розчину NaOH при вході в мембранний апарат
- 2) температура водяної пари після випарного апарата;
- 3) витрата розчину NaOH перед входом в мембранний апарат;
- 4) витрата очищеного розчину NaOH перед входом в випарний апарат;
- 5) витрата водяної пари після випарного апарата;
- 6) витрата очищеного розчину аміаку після випарного апарата;
- 7) тиск перед входом в мембранний апарат;
- 8) тиск перед входом в випарний апарат;
- 9) тиск водяної пари після випарного апарата;
- 10) тиск очищеного розчину аміаку після випарного апарата.

Параметру контролю та регулювання занесено в таблицю А.1.

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 125
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

Таблиця А.1 Параметри регулювання та контролю виробництва

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації
1	Трубопровід розчину NaOH перед входом у мембранний апарат	Температура	25 °С	Автоматичне регулювання
2	Трубопровід очищеного розчину перед входом у випарний апарат	Температура	60 °С	Автоматичне регулювання
3	Вхід розчину NaOH у мембранний апарат	Температура	56 °С	Сигналізація, контроль
4	Трубопровід подачі водяної пари після випарного апарата	Температура	59 °С	Сигналізація, контроль
5	Трубопровід розчину NaOH перед входом у мембранний апарат	Витрата	5 кг/с	Сигналізація, контроль
6	Трубопровід очищеного розчину NaOH перед входом у випарний апарат	Витрата	2,78 кг/с	Сигналізація, контроль
7	Трубопровід водяної пари після випарного апарата	Витрата	0,02 кг/с	Сигналізація, контроль
8	Трубопровід очищеного аміачного розчину після випарного апарата	Витрата	2,1 кг/с	Сигналізація, контроль
9	Трубопровід перед входом у мембранний апарат	Тиск	6 МПа	Сигналізація, контроль
10	Трубопровід перед входом у випарний апарат	Тиск	0,2 МПа	Сигналізація, контроль

Продовження таблиці А.1

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації
11	Трубопровід водяної пари після випарного апарата	Тиск	0,1 МПа	Сигналізація, контроль
12	Трубопровід очищеного аміачного розчину після випарного апарата	Тиск	0,2 МПа	Сигналізація, контроль

А.3 Автоматизація технологічного процесу

А.3.1 Система автоматичного регулювання

Система автоматичної регуляції призначена для стабілізації основних параметрів процесу концентрування розчину NaOH. Автоматичні регулятори забезпечують компенсацію збурень та підтримання параметрів у встановлених технологічних межах.

Контур 2 забезпечує регуляцію температури після насоса високого тиску перед мембранним апаратом. До складу контуру входять термоелектричний перетворювач, мікропроцесорний ПІД-регулятор, блок ручного керування і клапан.

Контур 3 забезпечує регуляцію температури очищеного розчину після випарного апарата. До складу контуру входять термоелектричний перетворювач, мікропроцесорний ПІД-регулятор, блок ручного керування і клапан.

А.3.1 Система автоматичного контролю і сигналізації

Система автоматичного контролю і сигналізації контролюють відповідні параметри та сигналізують про їх зміну та вихід за задані межі норми.

Контур 1 забезпечує контроль температури перед входом до мембранного апарата. До складу контуру входять термоелектричний перетворювач, мікропроцесорний ПІД-регулятор та сигнальні лампи HL1 та HL2.

Контур 4 забезпечує контроль температури після виходу пари з випарного апарата. До складу контуру входять термоелектричний перетворювач, мікропроцесорний ПІД-регулятор та сигнальні лампи HL3 та HL4.

Контур 5 забезпечує контроль витрат перед входом до мембранного апарата. До складу контуру входять електромагнітний витратомір, індикатор електромагнітний, індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний та сигнальні лампи HL7 та HL8.

Контур 6 забезпечує контроль витрат перед входом до випарного апарату. До складу контуру входять електромагнітний витратомір, індикатор електромагнітний, індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний та сигнальні лампи HL9 та HL10.

Контур 7 забезпечує контроль витрат перед входом водяної пари до насосу. До складу контуру входять електромагнітний витратомір, індикатор електромагнітний, індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний та сигнальні лампи HL11 та HL12.

Контур 8 забезпечує контроль витрат після виходу очищеного розчину аміаку з випарного апарата. До складу контуру входять електромагнітний витратомір, індикатор електромагнітний, індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний та сигнальні лампи HL13 та HL14.

Контур 9 забезпечує контроль тиску перед входом до мембранного апарата. До складу контуру входять електромагнітний витратомір, індикатор

електромагнітний, індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний та сигнальні лампи HL15 та HL16.

Контур 10 забезпечує контроль тиску перед входом до випарного апарату. До складу контуру входять електромагнітний витратомір, індикатор електромагнітний, індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний та сигнальні лампи HL17 та HL18.

Контур 11 забезпечує контроль тиску перед входом водяної пари до насосу. До складу контуру входять електромагнітний витратомір, індикатор електромагнітний, індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний та сигнальні лампи HL19 та HL20.

Контур 12 забезпечує контроль тиску після виходу очищеного розчину аміаку з випарного апарата. До складу контуру входять електромагнітний витратомір, індикатор електромагнітний, індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний та сигнальні лампи HL21 та HL22.

А.3.3 Система дистанційного приведення в дію електромоторів

Система дистанційного пуску та зупинки електричного обладнання забезпечує безпечне та оперативне керування насосом високого тиску.

Контур забезпечує дистанційне керування електродвигуном насоса М1. До складу входять кнопки керування типу SB1, SB2 («ПУСК»/«СТОП»), магнітний пускач МП1, аварійна кнопка НА, а також сигнальні лампи HL5 та HL6, що індикують режими “ПУСК” і “СТОП” насоса.

Висновок: автоматична система контролю дозволяє отримувати дані про зміну температур, витрат, тиску дистанційно з мінімальною участю оператора. Система регуляції дозволяє контролювати роботу клапанів та мотором насосу.

Специфікація на технологічні засоби автоматизації технологічного процесу

Позиція на схемі	Технологічний параметр	Середовище і місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	Кількість	Завод-виробник
1А	Температура	Трубопровід	25 °С	Трубопровід	Термоелектричний перетворювач IFM PC9023; робочий діапазон – 25...90 °С; матеріал захисної гільзи — нержавіюча сталь AISI 316L; допустимий робочий тиск до 6 МПа;	IFM PC9023	1	«IFM Electronic», Німеччина
1Б	-	-	-	Щит управління	Мікропроцесорний ПІД-регулятор – вимірювання, контроль та автоматичне регулювання одного технологічного параметра від будь-якого типу датчика з уніфікованими сигналами, термоперетворювачів опору та термопар. Один аналоговий вихід: 0...5 мА, 0(4)...20 мА (R _n =2кОм). Напруга живлення: змінного струму 100...242 В, 50Гц;	МІК-111	1	Підприємство «МІКРОЛТ», м. Івано-Франківськ
2А	Температура	Трубопровід	60 °С	Трубопровід	Термоелектричний перетворювач ТХА-9311 (тип К, хромель-алюмель) для вимірювання температур, робочий діапазон - 40...400 °С, матеріал захисної гільзи — нержавіюча сталь AISI 316L, допустимий робочий тиск до 5 МПа; клас допуску 2;	ТХА-9311	1	«Еталон», м. Івано-Франківськ
2Б	-	-	-	Щит управління	Мікропроцесорний ПІД-регулятор – вимірювання, контроль та автоматичне регулювання одного технологічного параметра від будь-якого типу датчика з уніфікованими сигналами, термоперетворювачів опору та термопар. Один аналоговий вихід: 0...5 мА, 0(4)...20 мА (R _n =2кОм). Напруга живлення: змінного струму 100...242 В, 50Гц;	МІК-111	1	Підприємство «МІКРОЛТ», м. Івано-Франківськ

2В	-	-	-	Щит управління	Блок ручного керування аналоговий; аналоговий вхід: 0...5 мА; 0(4)...20 мА ; 0...10 В; аналоговий вихід: 0...5 мА; 0(4)...20 мА ; 0...10 В. Інтерфейс RS-485	БРУ-17	1	«Підприємство «МІКРОЛТ»», м. Івано-Франківськ
2Г	-	Трубопровід	-	Трубопровід	Механізм виконавчий електродвигунний однообертовий, робоче джерело живлення: 24 В постійного струму, 220 В змінного струму, 380 В змінного струму, 16 – номінальний обертовий момент на вихідному валу, Н·м; номінальний тиск: 1,6...25 МПа, потужність валу: 60Вт; температура регульованого середовища: (-196)...530 °С. Керувальний сигнал: 0...10 В або 4...20 мА.	WCB	1	«Tianjin Freya Automation Technology Co, Ltd», Китай
3А	Температура	Трубопровід	56 °С	Трубопровід	Термоелектричний перетворювач ТХА-9311 (тип К, хромель-алюмель) для вимірювання температур, робочий діапазон - 40...400 °С, матеріал захисної гільзи — нержавіюча сталь AISI 316L, допустимий робочий тиск до 5 МПа; клас допуску 2;	ТХА-9311	1	«Еталон», м. Івано-Франківськ
3Б	-	-	-	Щит управління	Мікропроцесорний ПІД-регулятор – вимірювання, контроль та автоматичне регулювання одного технологічного параметра від будь-якого типу датчика з уніфікованими сигналами, термоперетворювачів опору та термопар. Один аналоговий вихід: 0...5 мА, 0(4)...20 мА (Rн=2кОм). Напруга живлення: змінного струму 100...242 В, 50Гц;	МІК-111	11	Підприємство «МІКРОЛТ»», м. Івано-Франківськ
3В	-	-	-	Щит управління	Блок ручного керування аналоговий; аналоговий вхід: 0...5 мА; 0(4)...20 мА ; 0...10 В; аналоговий вихід: 0...5 мА; 0(4)...20 мА ; 0...10 В. Інтерфейс RS-485	БРУ-17	1	«Підприємство «МІКРОЛТ»», м. Івано-Франківськ
3Г	-	Трубопровід	-	Трубопровід	Механізм виконавчий електродвигунний однообертовий, робоче джерело живлення: 24 В постійного струму, 220 В змінного струму, 380 В змінного струму, 16 –	WCB	1	«Tianjin Freya Automation Technology

					номінальний обертовий момент на вихідному валу, Н·м; номінальний тиск: 1,6...25 МПа, потужність валу: 60Вт; температура регульованого середовища: (-196)...530 °С. Керувальний сигнал: 0...10 В або 4...20 мА.			Co, Ltd», Китай
4А	Температура	Трубопровід	59 °С	Трубопровід	Термоелектричний перетворювач ТХА-9311 (тип К, хромель-алюмель) для вимірювання температур, робочий діапазон - 40...400 °С, матеріал захисної гільзи — нержавіюча сталь AISI 316L, допустимий робочий тиск до 5 МПа; клас допуску 2;	ТХА-9311	1	«Еталон», м. Івано-Франківськ
4Б	-	-	-	Щит управління	Мікропроцесорний ПІД-регулятор – вимірювання, контроль та автоматичне регулювання одного технологічного параметра від будь-якого типу датчика з уніфікованими сигналами, термоперетворювачів опору та термопар. Один аналоговий вихід: 0...5 мА, 0(4)...20 мА (R _H =2кОм). Напруга живлення: змінного струму 100...242 В, 50Гц;	МК-111	1	Підприємств о «МІКРОЛТ», м. Івано-Франківськ
5А	Витрата	Трубопровід	5 кг/с	Трубопровід	Електромагнітний витратомір; матеріал електродів – хастеллой, D _{тр} = 50...300 мм; температура вимірюваного середовища (-10)...80 °С, максимальна швидкість потоку 10м/с; основна похибка ±0,5 %; I _{вих} = 4...20 мА	РКМА G	1	«LTH Electronics», Великобританія
5Б	-	-	-	Трубопровід	Індикатор мікропроцесорний ОВЕН ИП320 з уніфікованим аналоговим входом 0...5 мА / 0...20 мА / 4...20 мА або 0...5 В / 0...10 В (конфігурується програмно); призначений для відображення, лінійної шкалізації та сигналізації процесних параметрів (тиск, температура, витрата, рівень тощо); клас точності 0,2 % від діапазону індикації; два незалежні релейні	ИП320	1	«ОВЕН», м. Харків

					виходи 250 В АС / 3 А для сигналізації або позиційного керування; робоча температура корпусу –20...+50 °С; ступінь захисту передньої панелі IP54;			
5В	-	-	-	Щит управління	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А–1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація; формує сигнали технологічної сигналізації;	ІТМ-11(В)	1	«Підприємств о «МІКРОЛТ»», м. Івано-Франківськ
6А	Витрата	Трубопро від	2.78 кг/с	Трубопро від	Електромагнітний витратомір; матеріал електродів – хастеллой, D _{тр} = 50...300 мм; температура вимірюваного середовища (-10)...80 °С, максимальна швидкість потоку 10м/с; основна похибка ±0,5 %; I _{вих} = 4...20 мА	RKMA G	1	«LTH Electronics», Великобританія
6Б	-	-	-	Трубопро від	Індикатор мікропроцесорний ОВЕН ИП320 з уніфікованим аналоговим входом 0...5 мА / 0...20 мА / 4...20 мА або 0...5 В / 0...10 В (конфігурується програмно); призначений для відображення, лінійної шкалізації та сигналізації процесних параметрів (тиск, температура, витрата, рівень тощо); клас точності 0,2 % від діапазону індикації; два незалежні релейні виходи 250 В АС / 3 А для сигналізації або позиційного керування; робоча температура корпусу –20...+50 °С; ступінь захисту передньої панелі IP54;	ИП320	1	«ОВЕН», м. Харків
6В	-	-	-	Щит управління	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА,	ІТМ-11(В)	1	«Підприємств о «МІКРОЛТ»», м. Івано-Франківськ

					4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А–1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація; формує сигнали технологічної сигналізації;			
7А	Витрата	Трубопро від	0.02 кг/с	Трубопро від	Електромагнітний витратомір; матеріал електродів – хастеллой, D _{тр} = 50...300 мм; температура вимірюваного середовища (-10)...80 °С, максимальна швидкість потоку 10м/с; основна похибка ±0,5 %; I _{вих} = 4...20 мА	РКМА G	1	«LTH Electronics», Великобрита нія
7Б	-	-	-	Трубопро від	Індикатор мікропроцесорний ОВЕН ИП320 з уніфікованим аналоговим входом 0...5 мА / 0...20 мА / 4...20 мА або 0...5 В / 0...10 В (конфігурується програмно); призначений для відображення, лінійної шкалізації та сигналізації процесних параметрів (тиск, температура, витрата, рівень тощо); клас точності 0,2 % від діапазону індикації; два незалежні релейні виходи 250 В АС / 3 А для сигналізації або позиційного керування; робоча температура корпусу -20...+50 °С; ступінь захисту передньої панелі IP54;	ИП320	1	«ОВЕН», м. Харків
7В	-	-	-	Щит управління	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; входні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А–1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація; формує сигнали технологічної сигналізації;	ITM- 11(В)	1	«Підприємств о “МІКРОЛТ”», м. Івано- Франківськ

8А	Витрата	Трубопро від	2.1 кг/с	Трубопро від	Електромагнітний витратомір; матеріал електродів – хастеллой, $D_{тр} = 50...300$ мм; температура вимірюваного середовища (- 10)...80 °С, максимальна швидкість потoku 10м/с; основна похибка $\pm 0,5$ %; $I_{вих} = 4...20$ мА	РКМА G	1	«LTH Electronics», Великобрита нія
8Б	-	-	-	Трубопро від	Індикатор мікропроцесорний ОВЕН ИП320 з уніфікованим аналоговим входом 0...5 мА / 0...20 мА / 4...20 мА або 0...5 В / 0...10 В (конфігурується програмно); призначений для відображення, лінійної шкалізації та сигналізації процесних параметрів (тиск, температура, витрата, рівень тощо); клас точності 0,2 % від діапазону індикації; два незалежні релейні виходи 250 В АС / 3 А для сигналізації або позиційного керування; робоча температура корпусу -20...+50 °С; ступінь захисту передньої панелі IP54;	ИП320	1	«ОВЕН», м. Харків
8В	-	-	-	Щит управління	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А-1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація; формус сигнали технологічної сигналізації;	ІТМ- 11(В)	1	«Підприємств о “МІКРОЛТ”», м. Івано- Франківськ
9А	Тиск	Трубопро від	6 МПа	Трубопро від	Тензоперетворювач тиску п’єзореzystивний САФІР-М6xxx з уніфікованим вихідним сигналом, робочий діапазон вимірювання 0...10 МПа, матеріал «мокрої» частини — нержавіюча сталь AISI 316L, допустимий надлишковий тиск $P_{max} = 10,2$ МПа.	САФІР- М6xxx	1	«САФІР», м. Харків

9Б	-	-	-	Щит управління	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А–1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація; формує сигнали технологічної сигналізації;	ІТМ-11(В)	1	«Підприємств о “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
10А	Тиск	Трубопро від	0,2 МПа	Трубопро від	Тензоперетворювач тиску п’єзорезистивний САФІР-М6xxx з уніфікованим вихідним сигналом, робочий діапазон вимірювання 0...10 МПа, матеріал «мокрої» частини — нержавіюча сталь AISI 316L, допустимий надлишковий тиск $P_{max} = 10,2$ МПа.	САФІР-М6xxx	1	«САФІР», м. Харків
10Б	-	-	-	Щит управління	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А–1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація; формує сигнали технологічної сигналізації;	ІТМ-11(В)	1	«Підприємств о “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
11А	Тиск	Трубопро від	0,1 МПа	Трубопро від	Тензоперетворювач тиску п’єзорезистивний САФІР-М6xxx з уніфікованим вихідним сигналом, робочий діапазон вимірювання 0...10 МПа, матеріал «мокрої» частини — нержавіюча сталь AISI 316L, допустимий надлишковий тиск $P_{max} = 10,2$ МПа.	САФІР-М6xxx	1	«САФІР», м. Харків
11Б	-	-	-	Щит управління	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА,	ІТМ-11(В)	1	«Підприємств о “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 136
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

					4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А–1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація; формує сигнали технологічної сигналізації;			
12А	Тиск	Трубопро від	0,2 МПа	Трубопро від	Тензоперетворювач тиску п'єзореzистивний САФІР-М6xxx з уніфікованим вихідним сигналом, робочий діапазон вимірювання 0...10 МПа, матеріал «мокрої» частини — нержавіюча сталь AISI 316L, допустимий надлишковий тиск Р _{max} = 10,2 МПа.	САФІР-М6xxx	1	«САФІР», м. Харків
12Б	-	-	-	Щит управління	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А–1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація; формує сигнали технологічної сигналізації;	ІТМ-11(В)	1	«Підприємств о “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
МП1	-	-	-	Щит управління	Магнітний пускач, реверсивний, для дистанційного пуску, зупинки електричних виконавчих механізмів; керувальний сигнал U _{ex} = 24 ± 6 В, U _{жив} = 220 В, 50/60 Гц.	ПММ 1/16	1	«ПРОМФАК ТОР», м. Кривий Ріг
SA1	-	-	-	Місцевий	Кнопка запобіжного вимикання; номінальна робоча напруга: змінна (частота 50/60 Гц) 660 В, постійна — 440 В, номінальний тепловий струм — 10 А	КМЕ-5111 УЗ	1	«Кам'янець-Подільський електромеханічний завод»
SB1, SB2	-	-	-	Щит управління	Пост управління кнопковий, кількість елементів управління — 2; номінальна напруга ізоляції (за змінного струму частотою 50/60	ПКУ 15-21 131 УЗ	2	«Променерго ав-томатика», м. Київ

ЛМ41мн.066131.001 ПЗ						Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 137
----------------------	--	--	--	--	--	------------	--------------	---------	-----------

					Гц) 660 В; температура довкілля від (-40) °С до 40 °С, комутаційна зносостійкість 1 000 000 циклів			
HL5	-	-	-	Щит управління	Лампа сигнальна світлодіодна (LED) з зеленим (ПУСК) індикатором (матриця), $W_{\max} = 0,01$ Вт, $U_{\text{ном}} = 230$ В, 50 Гц, монтажна глибина 72,5 мм.	ЛС-47М	1	«ІЕК Україна», м. Вишневе Київська обл.
HL6	-	-	-	Щит управління	Лампа сигнальна світлодіодна (LED) з червоним (СТОП) індикатором (матриця), $W_{\max} = 0,01$ Вт, $U_{\text{ном}} = 230$ В, 50 Гц, монтажна глибина 72,5 мм.	ЛС-47М	1	«ІЕК Україна», м. Вишневе Київська обл.
HL1, HL2, HL3, HL4, HL7, HL8, HL9, HL10, HL11, HL12, HL13, HL14, HL15, HL16, HL17, HL18, HL19, HL20, HL21, HL22	-	-	-	Щит управління	Лампа сигнальна світлодіодна (LED) з жовтим індикатором (матриця), $W_{\max} = 0,01$ Вт, $U_{\text{ном}} = 230$ В, 50 Гц, монтажна глибина ніші: 72,5 мм.	ЛС-47М	20	ІЕК Україна, м. Вишневе Київська обл.

Додаток Б
Модернізація

Вступ

Процеси мембранного очищення в сучасних технологіях виробництва каустичної соди відіграють ключову роль у забезпеченні високої якості продукту та стабільності роботи всієї установки. Ефективність зворотного осмосу значною мірою визначається гідродинамічними умовами в міжмембранному каналі, зокрема величиною гідравлічного опору, що формується спейсерною сіткою. Підвищений опір призводить до зростання енергетичних витрат, зниження питомої продуктивності модулів і прискореного забруднення мембранної поверхні.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності мембранних установок є оптимізація геометрії та конструкції спейсерів з метою зменшення втрат тиску за одночасного збереження інтенсивності масопереносу. Зміна конфігурації спейсерної сітки дає змогу впливати на структуру потоку в каналах, рівень турбулізації та рівномірність розподілу швидкостей, що безпосередньо позначається на продуктивності та стабільності процесу.

Метою даного розділу є дослідження одного з альтернативних типів спейсерів, порівняння його гідродинамічних характеристик зі стандартним спейсером, а також аналіз отриманих результатів з позиції зменшення гідравлічного опору та зниження енерговитрат.

Б.1 Методи дослідження

Для симуляції процесу в розробленому спейсері було використано середовище FreeCAD з використанням програмного доповнення OpenFOAM, оскільки при роботі з ним якість гідродинамічних обчислень залишається на високому рівні та досить детально показує поведінку потоку в обчислюваному середовищі візуально. Інтерфейс програми є зручним для роботи, оскільки легко налаштовуються усі необхідні параметри обчислення моделі.

Для побудови 3D моделі ділянки спейсеру було використано середовище FreeCAD v.1.0.0. через широкий набір інструментів для детального параметричного моделювання.

Поєднання FreeCAD з середовищем CfdOF дає змогу безпосередньо передавати побудовану геометричну модель до OpenFOAM, що усуває похибки, пов'язані з експортом і конвертацією даних між різними програмами.

Для відображення та інтерпретації результатів чисельного моделювання було застосовано програмне забезпечення ParaView 5.10.1, яке забезпечує наочне представлення тривимірних полів розрахункових даних. Застосований підхід характеризується високою точністю обробки результатів, гнучкістю побудови і дослідження складних геометричних моделей у задачах аналізу мембранних процесів.

Б.2 Обробка отриманих результатів та їх обговорення

Під час виконання завдання з модернізації апарата зворотного осмосу було розроблено спейсер з шаховим розташуванням ниток (рисунок Б.1). Теоретично, таке розташування ниток дозволить знизити гідравлічний опір, що в свою чергу підвищить енергоефективність апарата

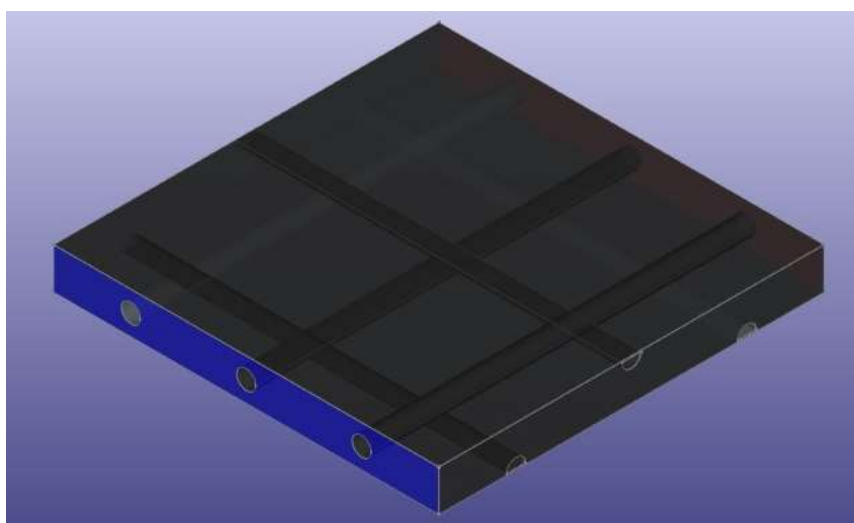


Рисунок Б.1 – Спейсер з шаховим розташуванням ниток

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 141
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

На рисунку Б.2 зображено результат моделювання потоку рідини, яка проходить через спейсер з шаховим розташуванням ниток. Для обробки результатів моделювання використовувалося середовище ParaView разом з модулем OpenFOAM, за допомогою якого визначався розподіл модуля швидкості потоку (U Magnitude). Аналіз візуальних даних показує, що під час обтікання ниток у потоці формуються ділянки з підвищеними швидкостями, які на візуалізаціях відповідають червоним зонам, а також області зі зниженими швидкостями, що відображаються синім кольором. У тильній частині перешкод спостерігається утворення зон вихрової течії та турбулентності.

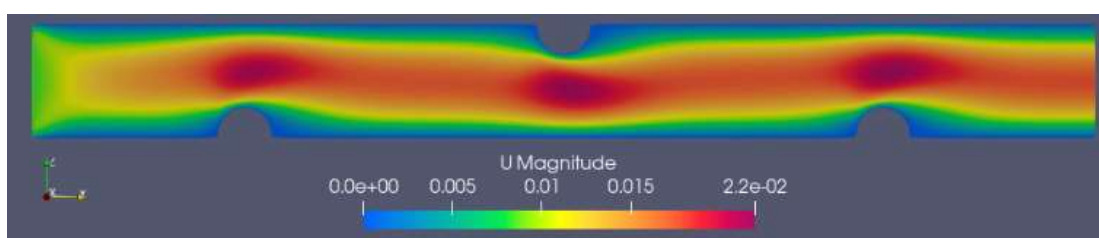


Рисунок Б.2 – Поле швидкостей в спейсері з шаховим розташуванням ниток

Спейсер з шаховим розташуванням ниток забезпечує більш інтенсивний рух рідини. Для того, щоб зробити певний висновок, необхідно порівняти описаний спейсер зі стандартним.

На рисунку Б.3 зображено результат моделювання потоку рідини, яка проходить через стандартний спейсер. Аналіз візуалізації показує, що гідравлічний опір в стандартному спейсері більший, а зони потенційного застою (зображені синім кольором) більш масивні

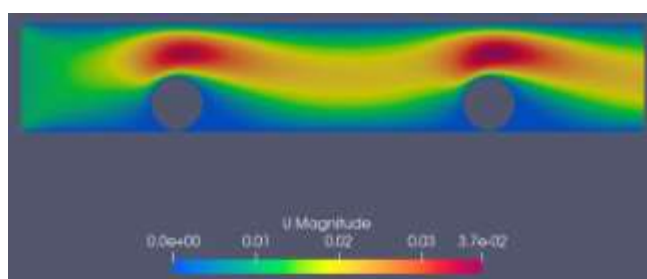


Рисунок Б.3 – Поле швидкостей в стандартному спейсері

ЛМ41мп.066131.001 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 142
----------------------	------------	--------------	------------	--------------

Б.3 Висновки

Під час моделювання процесу проходження рідини в спейсері з шаховим розташуванням ниток та спейсері зі стандартним розташуванням ниток було підтверджено теорію, що у шахове розташування ниток зменшує гідравлічний опір та збільшує швидкість руху рідини. Як результат, енергоефективність мембрани підвищується та робить її доцільною для використання.

Додаток В

Комп'ютерний розрахунок елементів апарата

Алгоритмічна схема розрахунку на міцність циліндричної одношарової обичайки зображена на рисунку В.1



Рисунок В.1 – Алгоритмічна схема розрахунку на міцність циліндричної одношарової обичайки

Програма розрахунку на міцність в середовищі MathCAD

$$\sigma_T := 276 + \frac{261 - 276}{100 - 20} \cdot (t - 20) = 275.063$$

$$\sigma_B := 540 + \frac{500 - 540}{100 - 20} \cdot (t - 20) = 537.5$$

$$n_T := 1.5$$

$$n_B := 2.4$$

$$\varphi := 0.9$$

$$\sigma := \min\left(\frac{\sigma_T}{n_T}, \frac{\sigma_B}{n_B}\right) = 183.375$$

$$\beta_R := e^{\frac{P}{\sigma \cdot \varphi}} = 1.037$$

$$S := 0.5 \cdot d_a \cdot (\beta_R - 1) + c_1 + c_0 = 3.5 \times 10^{-3}$$

$$c_2 := 0$$

$$\frac{c_2 + c_1}{S} = 0.571$$

$$c := c_1 + c_3 + c_2 = 2 \times 10^{-3}$$

$$S := 0.5 \cdot d_a \cdot (\beta_R - 1) + c + c_0 = 3.5 \times 10^{-3}$$

$$\beta := \frac{d_a + 2 \cdot (S - c)}{d_a} = 1.037$$

$$P_{\text{доп}} := \sigma \cdot \varphi \cdot \ln(\beta) = 6.076$$

$$\frac{S - c}{d_a} = 0.019$$

$$0.019 \geq 0.4$$

Умова міцності виконується

Ідентифікатори роз'яснені в таблиці В.1

Найменування	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
Внутрішній діаметр обичайки	d_a	d_a	м
Розрахунковий внутрішній тиск	p	p	МПа
Розрахункова температура	t	t	°C
Границя плинності	σ_T	σ_T	МПа
Тимчасовий опір	σ_B	σ_B	МПа
Коефіцієнт запасу міцності	n_T	n_T	-
Коефіцієнт запасу міцності	n_B	n_B	-
Міцність зварного шва	φ	φ	-
Допустиме напруження	σ	σ	МПа
Розрах. коеф. товстостінності	β_R	β_R	-
Товщина стінки (І наближення)	S'	S'	м
Додаток на округлення	C_0	C_0	м
Додаток до компенсації корозії	C_1	C_1	м
Додаток	C_2	C_2	м
Технологічний додаток	C_3	C_3	м
Виконавча товщина стінки	S	S	м
Коефіцієнт товстостінності	β	β	-
Допустимий тиск	$p_{\text{доп}}$	$p_{\text{доп}}$	МПа

Результати розрахунку міцності циліндричної одношарової обичайки наведено в таблиці В.2

Таблиця В.2 – Результати розрахунку

Найменування величини	Позначення	Числове значення	Розмірність
Допустимий тиск	$p_{\text{доп}}$	0,019	МПа
Виконавча товщина стінки	S	$3,5 \cdot 10^{-3}$	м

Додаток Г

Документація до патентного дослідження

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ

№ ЛМ41мп.066131 РП

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти продукції проведений патентний пошук.

Найменування теми: Апарат зворотного осмосу та випарний апарат шифр теми:

ЛМ41мп.066131

Етап: Проектування апарата та його основних частин.

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:
ЛМ41мп.066131

Обґрунтування регламенту пошуку:

Предмет пошуку – апарати зворотного осмосу, а також випарні апарати.

Мета пошуку інформації: аналіз стану патентів апаратів зворотного осмосу та випарних апаратів, оцінювання патентоздатності розроблюваних конструкцій, а також виявлення основних тенденцій та напрямів розвитку відповідних технічних рішень.

Визначення держав пошуку. Усі країни, окрім РБ та РФ.

Ретроспективність: Термін дії патенту на винахід в Україні, США, Європі, Китаї – 20 років з дати подання заявки, на корисну модель – 10 років з дати подання заявки, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 2025 р.

Класифікаційні індекси: Міжнародна патентна класифікація: апарати зворотного осмосу та їх складові – B01D69/02, B01D67/00, B01D61/02, C02F1/44; випарні апарати та їх складові – B01D1/22, B01D1/30; B01D1/00.

Уніфікована десятикова класифікація УДК 66.06.

Джерела інформації: 1) Патентна інформація: реферати, формули, описи та креслення до винаходів, офіційні бюлетені; 2) Науково-технічна інформація: монографії з тепломасообмінних процесів, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічних технологій.

Початок пошуку: 17.09.2025.

Закінчення пошуку: 23.09.2025.

Довідка про пошук № ЛМ41мп.066131 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень: ЛМ41мп.066131.000

Етап: Проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата, завдання на проведення патентних досліджень

ЛМ31мп.17.11.2025

Номер, дата регламенту пошуку ЛМ41мп.066131 РП 23.09.2025

Початок пошуку 17.09.2025

Закінчення пошуку 23.09.2025

Таблиця Г.1 – Регламент пошуку (згідно ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК МКПЗ, МКТП, УДК	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
Апарати зворотного осмосу та їх складові	Визначення патентно-здатності проектового апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Усі, окрім РБ та РФ	B01D69/02, B01D67/00, B01D61/02, C02F1/44.	2025	Описи винаходів і корисних моделей; «Journal of Engineering Sciences» Espcanet
Випарні апарати	Визначення патентно-здатності проектового апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Усі, окрім РБ та РФ	B01D1/22, B01D1/30; B01D1/00.	2025	Описи винаходів і корисних моделей; «Journal of Engineering Sciences» Espcanet

Таблиця Г.2 – Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікація індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Мембранні апарати рулонного типу	США, Європа	B01D69/02 B01D67/00 B01D61/02 C02F1/44.	Фонд “КПІ ім. Ігоря Сікорського” Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається безкоштовний доступ в Інтернеті http://ep.espacenet.com/	Описи патентів на винаходи США. Описи патентів на винаходи Європи. Офіційний бюлетень «Промислова власність» «Винаходи», «Корисні моделі», «Винаходи за кордоном», «Винаходи країн світу», Описи винаходів та корисної моделі всього світу	«Тепломасообмін» УРЖ «Хімічна промисловість України» Плановский А. Н., Николаев П. И., Atefe E., Mir Mahdi Z., Morteza Z. (2019) Economic analysis for process optimization of Chabahar Maritime University reverse osmosis desalination plant: a case study. – Applied Water Science 9:114, Mark C. Porter (1990) Handbook of industrial membrane technology. – 619 P., Richard W. Baker (2000) Membrane technology and applications. – 545 P.

Продовження таблиці Г.2

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, викорис-тана під час пошуку	Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Мембранні апарати рулонного типу	США, Європа	B01D1/22, B01D1/30; B01D1/00.	Фонд “КПІ ім. Ігоря Сікорського” Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається безкоштовний доступ в Інтернеті http://ep.espacenet.com/	Описи патентів на винаходи США. Описи патентів на винаходи Європи. Офіційний бюллетень «Промислова власність» «Винаходи», «Корисні моделі», «Винаходи за кордоном», «Винаходи країн світу», Описи винаходів та корисної моделі всього світу	«Тепломасо-обмін» УРЖ «Хімічна промисловість України» Плановский А. Н., Николаев П. И., Atefe E., Mir Mahdi Z., Morteza Z. (2019) А. Г. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної ехнології [Текст]: підруч. / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок та ін.— К.: НТУУ«КПІ», 2011. – Ч.2. – 416 с. – Бібліогр.: с. 415-415. – 400 пр.

Таблиця Г.3 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
Composite reverse osmosis membrane material	YOU Shisen, QIU Hailin та ін. Composite reverse osmosis membrane material: пат. CN 120132623A / QUANZHOU VOCATIONAL & TECHNICAL UNIV. — № CN 202510636443A; заявл. 17.05.2025; опубл. 13.06.2025	Діє
Reverse osmosis concentrated water recovery device	GAO Ming, LI Li та ін. Reverse osmosis concentrated water recovery device: пат. CN 120132445A / SHANDONG SANCAI ENVIRONMENTAL PROTECTION TECH CO LTD. — № CN 202510628892A; заявл. 16.05.2025; опубл. 13.06.2025	Діє
Reverse osmosis membrane and preparation method	WANG Ming, WU Chao та ін. Reverse osmosis membrane as well as preparation method and application thereof: пат. CN 120115012A / BLUE STAR HANGZHOU MEMBRANE IND CO LTD. — № CN 202510601748A; заявл. 12.05.2025; опубл. 10.06.2025	Діє
Parallel multistage RO ultrapure water system	YU Zunjun, LUO Zhichao, YANG Cheng та ін. Parallel multistage reverse osmosis ultrapure water preparation system: пат. CN 120097455A / SHENZHEN PURE WATER NO 1 TECH CO LTD. — № CN 202510590471A; заявл. 08.05.2025; опубл. 06.06.2025	Діє
Integrated RO membrane modification and filtration device	YOU Shisen, WEN Shengkai, XU Long та ін. Modification and filtration integrated device and reverse osmosis composite membrane preparation method thereof: пат. CN 120081570A / QUANZHOU VOCATIONAL & TECHNICAL UNIV. — № CN 202510571495A; заявл. 06.05.2025; опубл. 03.06.2025	Діє
Falling film evaporator and distributor	LYU Haiyong, ZHANG Jingyi та ін. Falling film evaporator and distributor thereof: пат. CN 120324925A / ZHEJIANG BOKÉ HEAT EXCHANGE TECH CO LTD. — № CN 202510502186A; заявл. 21.04.2025; опубл. 18.07.2025	Діє
Evaporator for continuous melt polymer heating	SUN Jianfeng, XIAO Daming та ін. Evaporator for continuous melt polymer heating falling film light component removal: пат. CN 120393469A / CHINA TIANCHEN ENG CORP. — № CN 202510566868A; заявл. 30.04.2025; опубл. 01.08.2025	Діє

Продовження таблиці Г.3

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
Intelligent liquid distribution equipment for falling-film evaporator	WANG Tao, FANG Mengxiang та ін. Intelligent liquid distribution equipment for falling-film evaporator and use method: пат. CN 119733255A / UNIV ZHEJIANG; XIZI CLEAN ENERGY EQUIPMENT MFG CO LTD. — № CN 202510027779A; заявл. 08.01.2025; опубл. 01.04.2025	Діє
Falling film evaporator with enhanced heat transfer tubes	WANG Sanjun. Falling film evaporator based on heat exchange tube enhanced heat transfer technology: пат. CN 120550425A / JIANGSU ZONGHENG CONCENTRATION & DRYING EQUIPMENT CO LTD. — № CN 202511067910A; заявл. 31.07.2025; опубл. 29.08.2025	Діє
Intelligent multistage falling-film evaporator	YU Miao, XU Yanjie, WU Haiqian та ін. Intelligent falling-film evaporator equipment with multi-stage liquid distribution function and using method: пат. CN 120532148A / XIZI CLEAN ENERGY EQUIPMENT MFG CO LTD. — № CN 202510762917A; заявл. 09.06.2025; опубл. 26.08.2025	Діє

Висновок:

За результатами патентного пошуку встановлено, що розроблені апарати та їхні конструктивні елементи не порушують патентної чистоти, оскільки в них відсутні суттєві технічні ознаки, притаманні найближчим аналогам.

Додаток Д

Патенти, які використані в патентному дослідженні



(21) 申请号 202510636443.8

B01D 67/00 (2006.01)

(22) 申请日 2025.05.17

B01D 69/02 (2006.01)

(71) 申请人 泉州职业技术大学

B01D 71/02 (2006.01)

地址 362200 福建省泉州市晋江市内坑镇
柑市村锦兴路112号

B01D 71/56 (2006.01)

C02F 1/44 (2023.01)

C02F 103/08 (2006.01)

(72) 发明人 尤世森 丘海林 方毅 徐龙
尹维浩 吴哲鸿 苏新萍 聂书红
陈伊蕾 郑建强 蔡海毅 林脉

(74) 专利代理机构 泉州凡硕知识产权代理有限公司
35257

专利代理师 王鸿伟

(51) Int. Cl.

B01D 69/12 (2006.01)

B01D 61/02 (2006.01)

B01D 65/08 (2006.01)

权利要求书2页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

一种复合反渗透膜材料

(57) 摘要

本发明涉及反渗透膜材料技术领域,具体涉及一种复合反渗透膜材料,包括用于提供支撑的底层、水凝胶层和用于脱盐的聚酰胺层,所述水凝胶层位于底层和聚酰胺层之间。本发明通过在传统反渗透膜结构中增加由氧化石墨烯水凝胶组成的水凝胶层,解决了反渗透膜长期使用时,杂质容易在反渗透膜表面结垢形成污染层,从而阻碍水分子通过的问题,同时提高了反渗透膜的亲水性。





(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 120132445 A

(43)申请公布日 2025.06.13

(21)申请号 202510628892.8

B01D 35/30 (2006.01)

(22)申请日 2025.05.16

B08B 9/032 (2006.01)

B01D 61/10 (2006.01)

(71)申请人 山东三才环保科技有限公司

地址 255000 山东省淄博市淄川区双杨镇
张坡村西首

(72)发明人 高明 李丽 任猛

(74)专利代理机构 北京铭创聚诚知识产权代理
有限公司 13156

专利代理师 林星滔

(51) Int. Cl.

B01D 29/50 (2006.01)

B01D 29/52 (2006.01)

B01D 29/58 (2006.01)

B01D 29/03 (2006.01)

B01D 35/16 (2006.01)

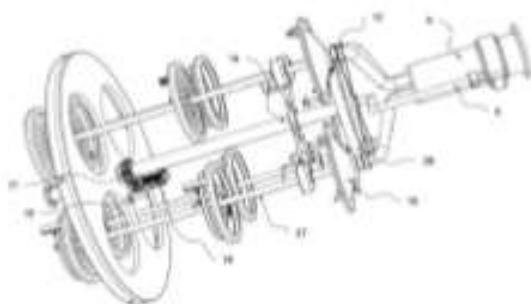
权利要求书1页 说明书4页 附图11页

(54)发明名称

一种反渗透浓水回收装置

(57)摘要

本发明提供了一种反渗透浓水回收装置,属于水处理技术领域。其构造包括:在封板上连接有导杆,导杆贯穿支座,在封板上设有排出口,在腔道的上端口处设有限制盘,在限制盘上设有输出孔,罐体中转动连接有主轴,在主轴上固结有从动齿轮,在罐体内内置有电动机,在电动机的输出轴上连接有主动齿轮,主动齿轮与从动齿轮啮合传动,在主轴上连接有限制盘和支架环,在支架环和封板之间连接有若干轮体。本发明将浓水的过滤和回收工序进行了整合,并采用可切换的多芯过滤结构,不仅能连续化完成机械过滤,而且能自动执行清洗作业。本发明使浓水的回收和预处理工艺在一定程度上实现了整合,提高了工艺效率,具有突出的技术优势。





(21) 申请号 202510601748.5

B01D 71/82 (2006.01)

(22) 申请日 2025.05.12

C02F 1/44 (2023.01)

(71) 申请人 蓝星(杭州)膜工业有限公司

地址 311199 浙江省杭州市临平区经济开发
区顺风路602号

(72) 发明人 王铭 吴超 吕振华 潘奕伊

陈涛 程志军 柯凌云

(74) 专利代理机构 杭州华进联浙知识产权代理
有限公司 33250

专利代理师 盛影影

(51) Int. Cl.

B01D 67/00 (2006.01)

B01D 69/02 (2006.01)

B01D 69/10 (2006.01)

B01D 71/76 (2006.01)

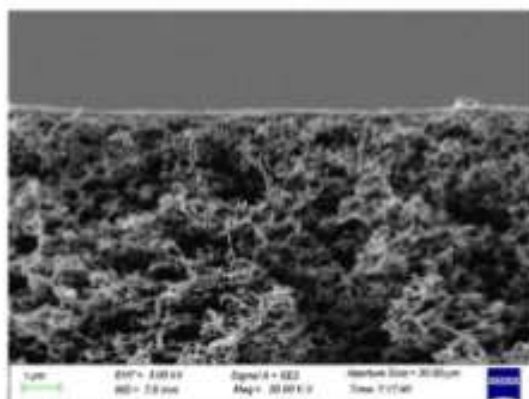
权利要求书1页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

反渗透膜及其制备方法和应用

(57) 摘要

本发明涉及反渗透膜及其制备方法和应用,其中,反渗透膜的制备方法包括如下步骤:将含有羟基的线性聚季铵盐、多元胺以及水配制成水相溶液,其中,含有羟基的线性聚季铵盐和多元胺的质量比为1:3-1:350,且水相溶液的pH大或等于10.0;将水相溶液、含有多元酰氯的油相溶液依次置于多孔支撑膜的同一表面,经热处理形成聚酰胺/聚季铵盐分离层,得到预制膜;采用小分子多元醇水溶液对预制膜进行漂洗处理,得到反渗透膜,其中,小分子多元醇水溶液的温度为70℃-90℃。该制备方法制备的反渗透膜在应用于水处理时,能够兼具高截留率、高水通量以及优异的抑菌性能。





(21) 申请号 202510590471.0

B01D 65/10 (2006.01)

(22) 申请日 2025.05.08

C02F 103/04 (2006.01)

(71) 申请人 深圳市纯水一号科技股份有限公司

地址 518000 广东省深圳市宝安区松岗街道潭头社区芙蓉路9号A栋1403

(72) 发明人 喻遵军 罗智超 杨成 胡小红

张耿威 王振 孙谦 黄广茂

(74) 专利代理机构 成都初阳知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 51305

专利代理师 唐嘉婧

(51) Int. Cl.

C02F 1/44 (2023.01)

B01D 61/02 (2006.01)

B01D 61/08 (2006.01)

B01D 61/12 (2006.01)

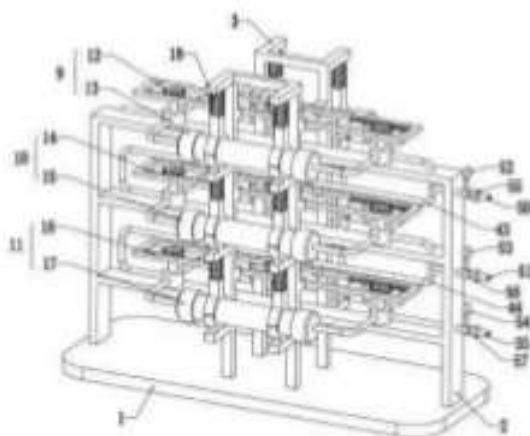
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种并联多级反渗透超纯水制备系统

(57) 摘要

本发明属于超纯水制备技术领域,具体公开了一种并联多级反渗透超纯水制备系统,包括底座,底座上壁设有放置架,底座的上壁设有支撑架,支撑架对称设于放置架的两侧,其中放置架由竖杆和横杆组成,竖杆对称设于底座的上壁,横杆阵列设于竖杆的内侧壁之间,支撑架包括框架、支板和支撑台,放置架从上往下的横板上依次设有一级反渗透过滤机构、二级反渗透过滤机构和三级反渗透过滤机构。本发明具有多级反渗透膜,且每级反渗透膜并联,通过电磁流量计判断出各个阶段需要更换的反渗透膜,并自动进行更换,节约了成本并大幅提高了超纯水制备的效率。





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120081570 A

(43) 申请公布日 2025.06.03

(21) 申请号 202510571495.1

(22) 申请日 2025.05.06

(71) 申请人 泉州职业技术大学

地址 362200 福建省泉州市晋江市内坑镇
柑市村锦兴路112号(72) 发明人 尤世森 温晟恺 徐龙 林清云
尹维浩 苏新萍 吴哲鸿 聂书红
杨永铨 郑建强 蔡海毅 林稣

(74) 专利代理机构 泉州凡硕知识产权代理有限公司 35287

专利代理师 郭莹

(51) Int. Cl.

C02F 9/00 (2023.01)

B01D 61/02 (2006.01)

B01D 65/08 (2006.01)

B01D 67/00 (2006.01)

B01D 69/02 (2006.01)

B01D 69/12 (2006.01)

B01D 71/56 (2006.01)

C02F 1/44 (2023.01)

C02F 1/00 (2023.01)

C02F 103/08 (2006.01)

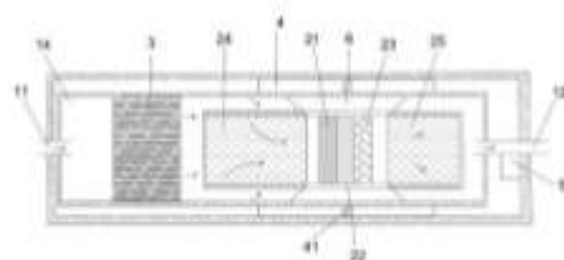
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种改性过滤一体化装置及其反渗透复合膜制备方法

(57) 摘要

一种改性过滤一体化装置及其反渗透复合膜制备方法,该方案包含由两端设有出水口和入水口的壳体、由普通RO膜、石墨烯水凝胶复合层和改性反渗透膜构成的反渗透复合膜、驱动装置、动力装置和水质监测装置共同构成的改性过滤一体化装置和由原料准备、预处理与吸附、聚合反应和膜改性等步骤的反渗透膜制备方法,本申请通过界面聚合法制备的反渗透复合膜,表面粗糙度降低,亲水性提高,从而提高了过滤效率和淡化效果,能够更有效地去除海水中的盐分和其他杂质,使淡化后的水质更加纯净,并且该改性过滤一体化装置便于携带,能适应不同的应用场景。





(21) 申请号 202510502186.9

(22) 申请日 2025.04.21

(71) 申请人 浙江搏克换热科技有限公司

地址 312500 浙江省绍兴市新昌县城南乡
石溪村横琴山脚2号(住所申报)

(72) 发明人 吕海永 张景依 陈辉 吕品福

(74) 专利代理机构 杭州奇炬知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 33393
专利代理师 林伟

(51) Int. Cl.

B01D 1/22 (2006.01)

B01D 1/14 (2006.01)

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 1/30 (2006.01)

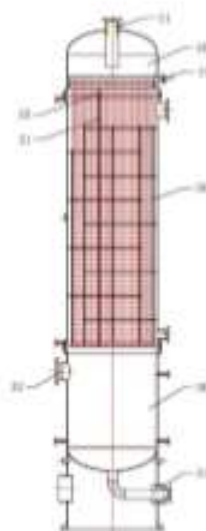
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

降膜蒸发器及其分布器

(57) 摘要

本申请涉及蒸发器的技术领域,特别涉及一种降膜蒸发器及其分布器,该降膜蒸发器的分布器包括设置于降膜蒸发器的蒸发管,包括设于蒸发管上端用于形成溢流口的套管、与蒸发管同轴设置的进气管、转动安装于蒸发管内的液体螺旋喂料头、连接液体螺旋喂料头和进气管的导气管、位于进气管内通过进汽带动液体螺旋喂料头旋转的风轮、设于导气管外且上端设有引风口的引风管,以及转动连接在液体螺旋喂料头内由进汽带动旋转并于引风口处形成吸力的引风结构;本申请具有保证降膜蒸发效果的优点。





(21) 申请号 202510566868.6

(22) 申请日 2025.04.30

(71) 申请人 中国天辰工程有限公司

地址 300400 天津市北辰区京津路1号

(72) 发明人 孙剑锋 肖达明 李勇 王媛

彭国辉 王琳男 薛宏江 林士玉

王龙潭 初萌 李佩勇

(74) 专利代理机构 天津滨海科纬知识产权代理

有限公司 12211

专利代理师 刘东

(51) Int. Cl.

B01D 3/22 (2006.01)

B01D 3/14 (2006.01)

C08F 6/10 (2006.01)

C08F 6/00 (2006.01)

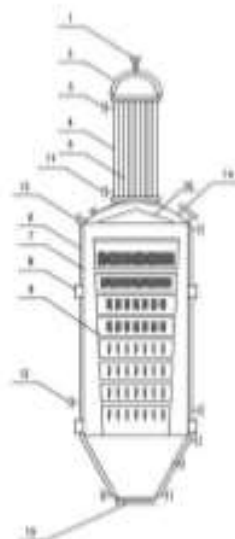
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于连续熔体聚合物加热降膜脱轻蒸发器

(57) 摘要

本发明提供了一种用于连续熔体聚合物加热降膜脱轻蒸发器,包括若干个依次连接的脱轻蒸发器;脱轻蒸发器包括加热器、脱挥器本体;加热器的底部与脱挥器本体的上部连通,脱挥器本体的上部与真空系统连接;脱挥器本体内设有栅板内件组件;聚合物通过加热器,聚合物熔融形成拉条进入脱挥器本体内,轻组分通过釜顶排空管被收集进入真空系统,脱挥器本体的底部得到脱轻后的聚合物。本发明有益效果:物料在脱挥器中的停留时间分布较均匀;物料依靠重力作用进入栅板结构中,均匀分布形成膜,自上而下流动进入层层栅板,成膜原件为平行角条组成的栅板;物料在栅板内件中具有较大的传质比表面积和较好的界面更新性能。





(21) 申请号 202510027779.4

B01D 1/30 (2006.01)

(22) 申请日 2025.01.08

(71) 申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

申请人 西子清洁能源装备制造股份有限公司

(72) 发明人 王涛 方梦祥 徐燕洁 江龙
骆仲泱 俞苗 吴海苗 高翔
刘珍

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

专利代理师 彭剑

(51) Int. Cl.

B01D 1/22 (2006.01)

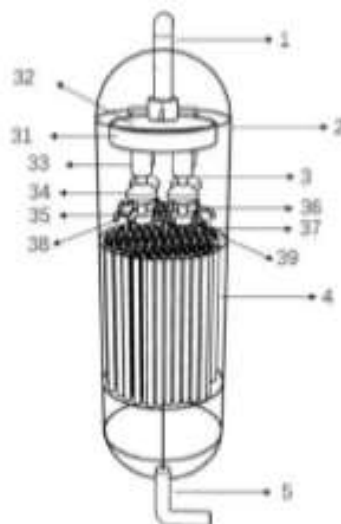
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种用于降膜蒸发器的智能布液设备及其使用方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于降膜蒸发器的智能布液设备及其使用方法,包括壳体以及在壳体内从上向下依次布置的进料管、初级布液单元、增压单元、智能布液分配单元、列管和出料管;所述进料管连接初级布液单元,初级布液单元连接增压单元,增压单元连接智能布液分配单元,智能布液分配单元将液体分配到列管,列管连接出料管。利用本发明,使得无论布液器来液是否稳定均可均匀布膜,其次可以智能调节布液流量大小,且能有效利用蒸汽预热同时避免蒸汽影响导致布膜不均匀。





(21) 申请号 202511067910.6

(22) 申请日 2025.07.31

(71) 申请人 江苏纵横浓缩干燥设备有限公司

地址 214263 江苏省无锡市宜兴市周铁镇
下邳村1号

(72) 发明人 王三君

(74) 专利代理机构 北京市广友专利事务所有限
责任公司 11237

专利代理师 曹留洋 张仲波

(51) Int. Cl.

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 1/06 (2006.01)

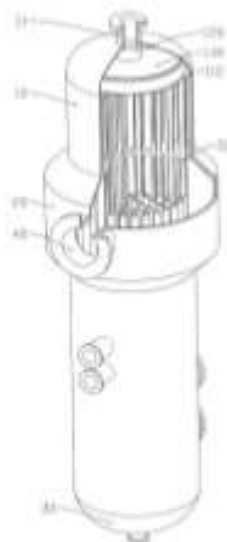
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

一种基于换热管强化传热技术的降膜蒸发器

(57) 摘要

本发明提供一种基于换热管强化传热技术的降膜蒸发器,涉及蒸发设备技术领域,包括蒸发罐体,蒸发罐体顶部安装有进料管,蒸发罐体内部设置有分液盘,分液盘上方设置有分液器,分液器与进料管连通,分液器底部设置有下液盘,下液盘上设置有若干下液孔,下液孔的液体下落点与邻近的换热管管口等间距设置,且每个下液孔与分液盘间距相同,分液器内设置有浮球,分液器内转动安装有开关盘,开关盘上开设有若干开关孔,分液器侧部设置有传动机构,浮球通过传动机构与开关盘联动,控制开关孔与下液孔通阻,实现液料均匀分配控制各下液孔同步启闭,实现液料均匀分配,本方案实现了液料的均匀分布,使得不同位置的换热管中成膜条件尽可能相同。





(21) 申请号 202510762917.3

(22) 申请日 2025.06.09

(71) 申请人 西子清洁能源装备制造股份有限公司

地址 310000 浙江省杭州市上城区大农港路1216号

(72) 发明人 俞苗 徐燕洁 吴海茜 胡浩
聂涛涛

(74) 专利代理机构 杭州华知专利事务所(普通合伙) 33235

专利代理师 龙湖浩

(51) Int. Cl.

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 1/22 (2006.01)

B01D 1/30 (2006.01)

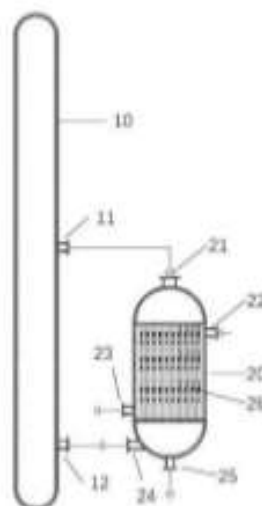
权利要求书1页 说明书3页 附图4页

(54) 发明名称

一种多级布液的智能降膜蒸发器设备及其使用方法

(57) 摘要

本发明公开了一种多级布液的智能降膜蒸发器设备,包括塔器单元和蒸发器单元,塔器单元和蒸发器单元液相口和蒸汽口连通,蒸发器单元内上部和下部同设置有智能多级布液器单元,智能多级布液器单元包括壳体、列管和智能布液器,壳体内均匀设置有多排列管,每根列管上下端连通蒸发器单元内的上部和下部,每根列管内沿列管方向设置有多级的智能布液器,每级的智能布液器包括储液管和变频泵,储液管内设置有液位计,液位计通过信号线连通变频泵,储液管连通变频泵,通过变频泵输出液体至每级的智能布液器下方列管内,壳体内一侧上部连通有蒸汽进口,另一侧下部连通有蒸汽冷凝出口。本发明布液均匀性显著提升,蒸汽利用效率优化,在线调节能力强。



Додаток Ж
Публікації автора

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

студента групи ЛМ-41мп кафедри машин та апаратів хімічних і
нафтопереробних виробництв

СЕМЕНОВА ДЕНИСА ПАВЛОВИЧА

1. Гулієнко С.В., Семенов Д.П. МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ СОДИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТУ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ // Збірник тез доповідей ХХVІІ міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання" (28 листопада 2024 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – Київ: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2024. – с. 96-99.
2. Гулієнко С.В., Семенов Д.П. ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТРИШАРОВИХ СПЕЙСЕРІВ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ // Водні технології: від традиційних методів до сучасних тенденцій: тези доповідей Міжнар. конференції (Київ, 28–30 жовт. 2025 р.). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – с. 90-91
3. Гулієнко С.В., Семенов Д.П.. МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ СОДИ ЗРОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТА ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ // Збірник тез доповідей ХХХVІІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництві підприємств будівельних матеріалів" 01-10 грудня 2025 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2025. – с. 95-100
4. Гулієнко С.В., Семенов Д.П.. МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ СОДИ ЗРОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТА ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ // Збірник тез доповідей ХХХVІІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництві підприємств будівельних матеріалів" 01-10 грудня 2025 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2025. – с. 290-295

УДК 661.3

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ СОДИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТУ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ

бакалавр Семенов Д.П., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Розглянуто питання модернізації установки виробництва каустичної соди з розробкою випарного апарата та апарату зворотного осмосу. Робота передбачає використання нових технологій для покращення ефективності установки та якості кінцевого продукту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КАУСТИЧНА СОДА, ВИПАРНИЙ АПАРАТ, АПАРАТ ЗВОРОТНОГО ОСМОМУ, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

Annotation: The modernization of a caustic soda production plant is considered, including the development of an evaporator and a reverse osmosis unit. The study involves the implementation of new technologies to improve the efficiency of the plant and the quality of the final product.

KEYWORDS: CAUSTIC SODA, EVAPORATOR, REVERSE OSMOSIS UNIT, MODERNIZATION.

На початку XIX ст. розвиток виробництва каустичної соди (NaOH) був тісно пов'язаний з розвитком виробництва кальцинованої соди. Цей взаємозв'язок зумовлений тим, що сировиною для хімічного способу отримання NaOH служила кальцинована сода, яка у вигляді содового розчину каустифікувалася вапняним молоком. У 1882 р. було розроблено та здійснено у промисловості феритний спосіб отримання, також заснований на використанні кальцинованої соди [1]. Каустична сода широко використовується у сфері нафтопереробки, виготовлення целюлози, певних хімічних волокон та інших сферах.

Водні розчини каустичної соди є сильними лугами [2]. Тому каустична сода в першу чергу використовується в реакціях нейтралізації для утворення натрієвих солей. Гідроксид натрію реагує з амфотерними металами (Al, Zn) та їх оксидами, утворюючи комплексні аніони, такі як $[\text{AlO}_2]^-$ і $[\text{ZnO}_2]^{2-}$.

Реакція Al_2O_3 з NaOH є основним етапом під час вилучення глинозему з бокситу:



Каустична сода також реагує з газами слабких кислот, такими як H_2S , SO_2 , CO_2 :



У промисловості ці реакції необхідні для очищення газових викидів а також вибіркового видалення H_2S із природнього газу, що містить CO_2 .

Металеві іони випадають осадом у формі гідроксидів з водних розчинів каустичної соди. Важливою реакцією у виробництві хлор-лугу є видалення магнію у вигляді $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в період первинного очищення та видалення інших домішок.

Органічні кислоти реагують із NaOH з утворенням розчинних солей. Омилення естерів призводить до утворення солі органічної кислоти та спирту, що добре видно на прикладі реакції тригліцеридів з утворенням мила і гліцерину:



Ще одна важлива реакція — це перетворення пропіленхлоргідрину в пропіленоксид:



Реакції NaOH із природними продуктами є складними. Вони включають розчинення бавовни під час регенерації гуми, декстринізацію крохмалю,

очищення бавовни, рафінування рослинних олій, а також видалення лігніну та геміцелюлози в процесі крафт-переробки деревини. Основний етап реакції целюлози, каустичної соди та моноклороцтової кислоти для утворення натрієвої солі карбоксиметилцелюлози подібний до процесу мерсеризації бавовни та виробництва віскози з целюлозоксанту.

Технологічна схема виробництва каустичної соди

Каустична сода, отримана діафрагмовим методом, очищується комерційно за допомогою ДН-процесу або методу аміачної екстракції, запропонованого компаніями PPG та OxyTech (рисунок 1) [2]. Основою цього методу є рідинно-рідинна екстракція, яка дозволяє знизити вміст солей та натрій хлорату.

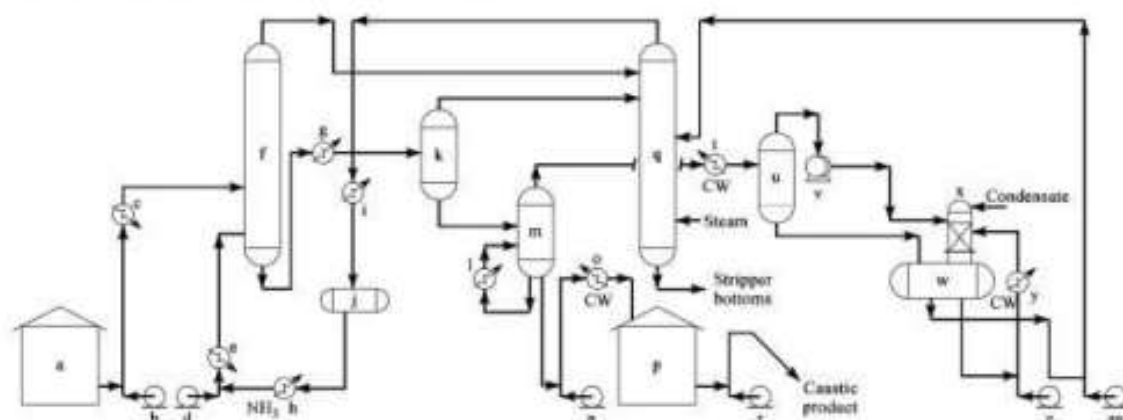
Процес очищення відбувається шляхом контакту 50% розчину каустичної соди з аміаком у протитечійному режимі за температури 60°C та тиску до 2500 кПа (25 атм). Рідкий аміак поглинає солі, хлорат, карбонати, воду та частину каустичної соди. Відфільтрований аміак випаровується, концентрується та повертається до екстракційного процесу.

Отриманий продукт містить приблизно 62% NaOH та очищений від домішок. Видалення Fe, Ni, Pb та Cu до низьких концентрацій здійснюється електролізом із використанням пористих катодів. Металічні домішки осідають на катоді, а каустична сода проходить фінальну очистку.

Модернізація установки полягає в додаванні апарата зворотного осмосу для покращення очищення каустичної соди. Це дасть змогу ефективніше видаляти залишкові домішки, такі як солі, важкі метали та інші забруднення, що не повністю усуваються на попередніх етапах. Як наслідок, якість кінцевого продукту підвищиться, а ризик небажаних хімічних реакцій у подальшому виробничому процесі зменшиться.

Зворотний осмос також сприятиме зниженню навантаження на випарники та інші очищувальні вузли. Очищена перед цим рідина матиме

менше солей та відкладень, що допоможе зменшити корозію обладнання та продовжити термін його експлуатації. Крім того, очищена вода після осмосу може бути повторно використана, що знизить споживання свіжої води та зробить процес більш екологічним.



a – резервуар для 50% каустичної соди, b – насоси подачі 50% каустичної соди, c – підігрівач каустичної соди, d – насоси подачі аміаку, e – підігрівач аміаку, f – екстрактор, g – додатковий підігрівач, h – охолоджувач аміаку, i – конденсатор випарника, j – резервуар для безводного аміаку, k – основний випарник, l – випарник-регенератор, m – випарник, n – насоси подачі очищеної каустичної соди, o – охолоджувач очищеного продукту, p – резервуар очищеної каустичної соди, q – стрипер аміаку, r – насоси подачі очищеної каустичної соди, t – конденсатор парів, u – випарник, v – вакуумний насос випарника, w – резервуар для водного аміаку, x – скруббер аміаку, y – конденсатор скруббера, z – насос рециркуляції аміаку, aa – насос відновлення аміаку, CW – холодна вода

Рисунок 1 Схема виготовлення

Список використаної літератури:

1. Технологія солі та лугів. Навчальний посібник / Л. В. Іванченко, В. Я. Кожухар та ін. Одеса : «Державний університет «Одеська політехніка»», 2021. 207 с.
2. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 1. 4th ed. A to Alkaloids / Ed. by Watcher.

ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТРИШАРОВИХ СПЕЙСЕРІВ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ

Семенов Денис, Гулієнко Сергій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

e-mail: denys.sem@ukr.net

Водопідготовка та водоочищення – це основні сфери застосування мембранних процесів, в першу чергу баромембранних процесів. Важливою умовою ефективної роботи мембранного обладнання є забезпечення належних гідродинамічних умов. У багатьох конструкціях модулів важливим чинником, що визначає гідродинаміку в модулі, є конструкція сітки-сепаратора або спейсера. Дослідженню ефективності різних конструкцій спейсерів присвячена велика кількість досліджень. При чому, найбільш поширеними є спейсери з нитками круглого поперечного перерізу [1].

На рисунку 1 показано поле швидкостей в каналі мембранного модуля зі спейсером з нитками круглого поперечного перерізу, змодельованого за допомогою модуля CFD-OF у відкритому програмному пакеті FreeCAD. Поле швидкостей отримано для витрати рідини 0,3 л/год. З рисунку 1 можна бачити, що біля ниток спейсера спостерігаються області з низькою швидкістю (області синього кольору). В цих областях може застоюватися оброблювана вода та формуватися забруднення, тому їх усунення позитивно позначиться на роботі мембранних модулів. Метою цієї роботи є попередня оцінка ефективності двох тришарових конструкцій спейсера.

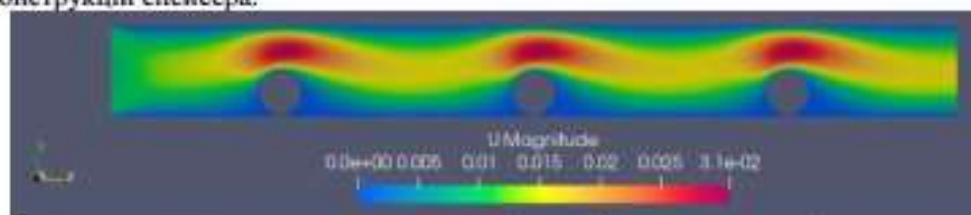


Рисунок 1. Поле швидкостей в каналі мембранного модуля зі стандартним спейсером

В роботі [2], було вказано, що серед запропонованих конструкцій спейсерів використовуються і тришарові. В цій роботі було розглянуто дві конструкції спейсера, показані на рисунку 2.

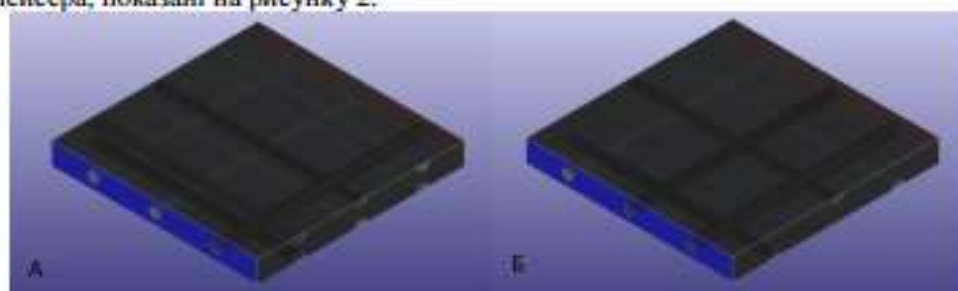


Рисунок 2. Запропоновані конструкції тришарового спейсера: А – з симетричним розташуванням ниток; Б – з шаховим розташуванням ниток

Обидві конструкції включають нитки напівкруглого поперечного перерізу, які розташовуються біля поверхні мембрани та круглого поперечного перерізу в центрі. Оскільки радіуси обох типів ниток однакові, товщина спейсера буде такою ж, як стандартного спейсера з нитками круглого поперечного перерізу.

Робоча гіпотеза полягає в тому, що напівкругла форма ниток буде забезпечувати кращі умови обтікання, порівняно з круглою формою, що дозволить усунути застійні зони. Для перевірки робочої гіпотези було змодельована течія в каналах з запропонованим спейсерами. Моделювання було здійснене з використанням того ж самого програмного забезпечення і умов, що і для випадку поля швидкостей, показаного на рисунку 1. Поле швидкостей для конструкції з симетричним розташуванням ниток показано на рисунку 3.

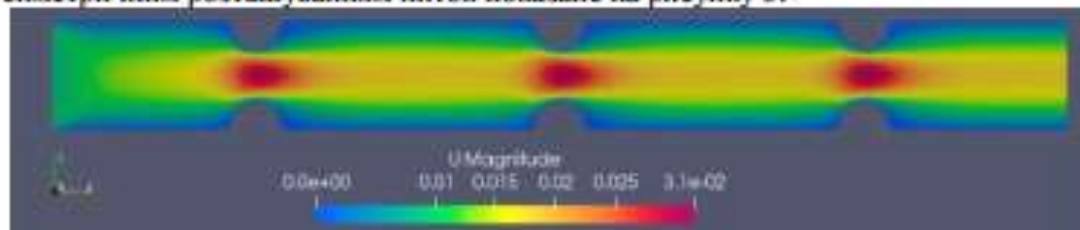


Рисунок 3. Поле швидкостей в каналі мембранного модуля з запропонованим спейсером з симетричним розташуванням ниток

З рисунку 3 видно, що площа ділянок з найменшою швидкістю зменшується, однак очевидним недоліком є висока швидкість в центрі каналу та низька біля поверхні мембран. Тому для вирішення цієї проблеми була запропонована конструкція шаховим розташуванням ниток (рисунку 4).

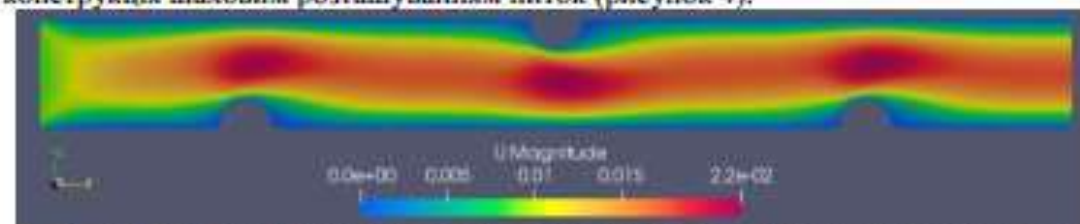


Рисунок 4. Поле швидкостей в каналі мембранного модуля з запропонованим спейсером з шаховим розташуванням ниток

В цьому випадку, поряд зі зменшенням кількості зон з мінімальною швидкістю, спостерігається більш рівномірний розподіл швидкостей по перерізу, а також менші значення максимальної швидкості, що позитивно впливає на гідравлічний опір модуля.

Висновки. Візуальний аналіз полів швидкостей в каналах з запропонованим спейсерами показує, що конструкція з шаховим розташуванням ниток є перспективною для подальшого аналізу.

Перелік літератури

1. Hulienko, S. V.; Komiiienko, Y. M.; Gatilov, K. O. Modern trends in the mathematical simulation of pressure-driven membrane processes. *Journal of Engineering Sciences*, 2020, 7(1), F1–F21.
2. Hulienko, S. V.; Komiiienko Y. M.; Muzyka, S. M.; Holubka, K. Simulation of Reverse Osmosis Process: Novel Approaches and Development Trends. *Journal of Engineering Sciences*, 2022, 9(2), F6–F36.

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ СОДИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТА ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ

бакалавр **Семенов Д.П.**, доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

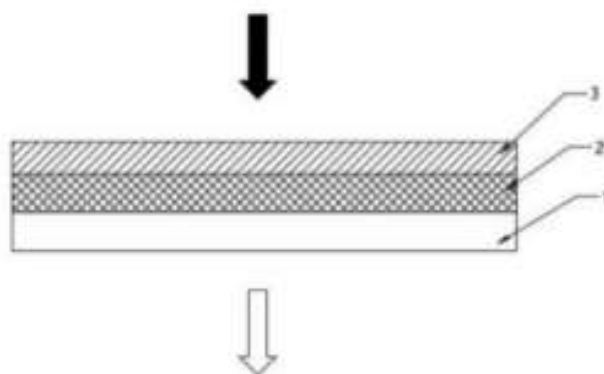
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Розглянуто три патенти, які описують методи модернізації традиційного апарату зворотного осмосу. Проаналізовано їх принцип дії та наведено переваги та недоліки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕРНІЗАЦІЯ, ФІЛЬТРАЦІЯ, ЗВОРОТНИЙ ОСМОС, МЕМБРАНА.

Розглянемо патент CN120132623A [1], який описує нову тришарову композитну мембрану зворотного осмосу для очищення води, зокрема для опріснення морської води (рис. 1). На відміну від традиційної двошарової мембрани, де сепараційний шар поліаміду знаходиться безпосередньо на пористій підкладці, запропонована мембрана має додатковий проміжний шар — гідрогель оксиду графену. Цей шар розміщується між нижньою опорною підкладкою та верхнім поліамідним шаром.



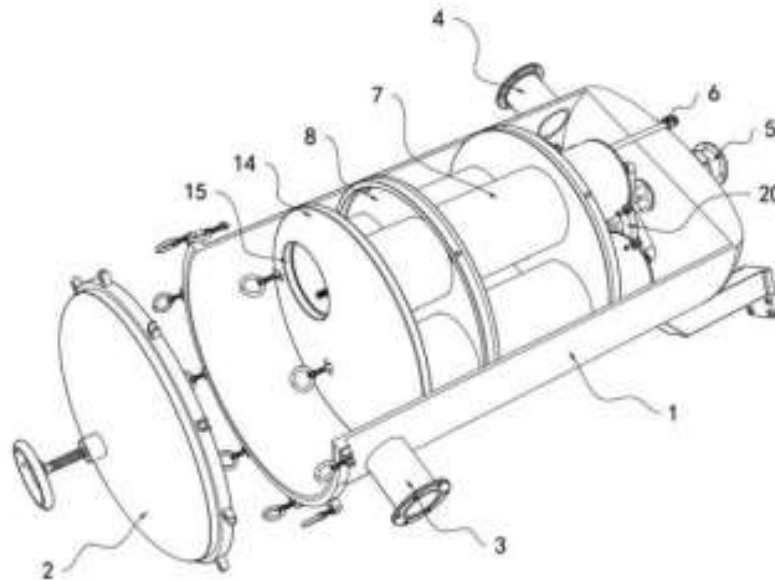
1 – Нижній шар; 2 – гідрогелевий шар; 3 – поліамідний шар.

Рисунок 1 – Будова фільтраційної мембрани.

Серед переваг запропонованої мембрани варто виділити підвищений захист до біологічного забруднення завдяки оксиду графену, що підвищує термін служби мембрани. Підвищена гідрофільність покращує потік води, що в свою чергу збільшує продуктивність. Мембрана також підвищує якість відділення солей, що було підтверджено експериментально.

Недоліками мембрани є складність виробництва через процедуру отримання оксиду графену, перетворення його на гідрогель та додаткові модифікації, що суттєво збільшує ціну виготовлення. Через використання гідроксиду калію та інших токсичних речовин, які згадуються у модифікованому методі Хуммерса, необхідно дотримуватися особливих заходів безпеки при виготовленні мембрани. Під час експерименту було виявлено, що ефективність мембрани залежить від концентрації гідрогелю оксиду графену.

Патент CN120132445A [2] описує пристрій для рекуперації для концентрованої води зворотного осмосу (рис. 2). Порівняно з традиційними системами, де фільтрація та очищення є окремими процесами, в цьому винаході пропонується система, що об'єднує ці два процеси в одному пристрої. Головною особливістю є багатоканальна фільтруюча структура, яка складається з послідовно розташованих каналів з фільтруючим матеріалом.



1. корпус бака; 2 – торцева кришка; 3 – вхідна труба; 4 – зливна труба; 5 – промивна труба; 6 – порожнина; 7 – ущільнювальне кільце; 8 – опора; 14 – вихідний отвір; 15 – головний вал; 20 - виїмка.

Рисунок 2 – Пристрій для рекуперації для концентрованої води зворотного осмосу.

Перевагами апарату є висока ефективність, що досягається шляхом поєднання процесів фільтрації та очищення. Також це досягається автоматичною системою очищення, що прибирає частину простоїв для обслуговування. Пристрій являє собою повністю автоматизовану конструкцію, що знижує необхідність в частому контролі з боку оператора.

Серед недоліків варто виділити складну внутрішню структуру та велику кількість рухомих частин, що збільшує вартість виготовлення. Пристрій не зможе себе ефективно очищати при роботі з липкими, або в'язкими речовинами, що призведе до частих зупинок для обслуговування.

Патент CN120115012A [3] описує інноваційну мембрану зворотного осмосу та метод її виготовлення (рисунок 3). Її створення пов'язане з прагненням

підвищити ефективність фільтрації. Однією із головних особливостей мембрани є покращена пропускна здатність та стійкість до біозабруднень. Мембрана складається з трьох основних елементів, а саме:

1. Пористої опорної мембрани, яка забезпечує механічну міцність
2. Розділювального шару, який представляє собою тонкий поліамідний шар, що формується на опорній мембрані. В нього інтегрована лінійна полічетвертинна амонійна сіль.
3. Антибактеріального шару, який формується на поверхні розподільчого шару у вигляді молекулярних щіток, які складаються з груп полічетвертинної солі.

Основний принцип роботи полягає у використанні спеціального реагенту у вигляді лінійної полічетвертинної амонійної солі. Вона заповнює мікропорожнини в поліамідній структурі, роблячи мембрану щільнішою та одноріднішою, підвищуючи її здатність затримувати малі органічні молекули. Під час промивання багатоатомним спиртом частина полічетвертинної амонійної солі виходить на поверхню, формуючи антибактеріальний шар без втрати пропускної здатності.

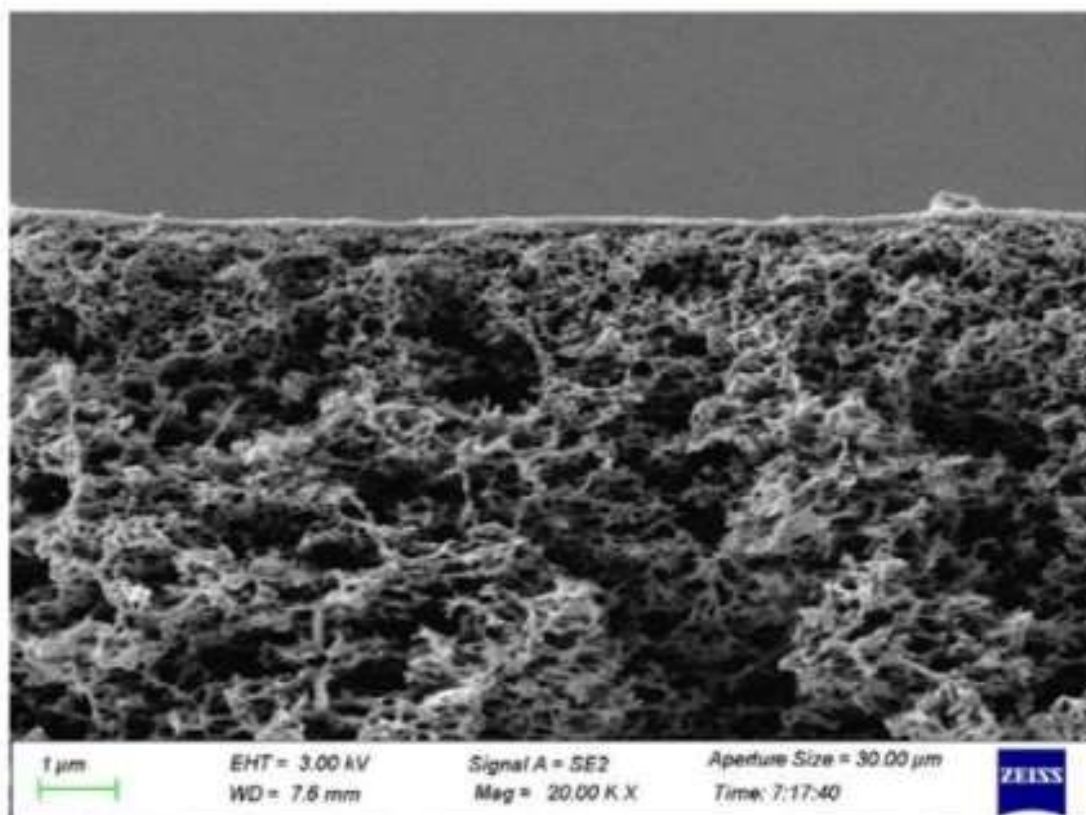


Рисунок 3 – Тришарова мембрана

Перевагами даної мембрани є висока пропускна здатність через додавання полімеру та утворення двостінних гідратаційних каналів. Структура мембрани дозволяє ефективніше затримувати невеликі органічні молекули. Це сприяє зменшенню біообростання мембрани, що є однією із головних проблем традиційних мембран.

Недоліками ж є висока вартість виготовлення пов'язана з необхідністю точного контролю рівня рН, температури та використання спеціальних хімікатів. Для ефективного використання варто дотримуватися оптимальних температури, концентрації, в іншому випадку ефективність падає.

Висновок: Розглянуті патенти в галузі зворотного осмосу та фільтрації демонструють увагу на хімічну модернізацію мембран та на автоматизацію процесів утилізації. Новітні мембрани вдосконалюються шляхом вбудовування функціональних полімерів, що дозволяє одночасно підвищити пропускну

здатність, покращити селективність і надати мембрані антибактеріальних властивостей, вирішуючи проблему біообростання. Паралельно розвиваються інтелектуальні системи для безперервної утилізації концентрованої води, які використовують багаторівневу фільтрацію та самоочищення.

Список використаної літератури:

1. YOU Shisen, QIU Hailin та ін. Composite reverse osmosis membrane material : пат. CN 120132623A / QUANZHOU VOCATIONAL & TECHNICAL UNIV. — Китай. — № CN 202510636443A; заявл. 17.05.2025; опубл. 13.06.2025.
2. GAO Ming, LI Li та ін. Reverse osmosis concentrated water recovery device : пат. CN 120132445A / SHANDONG SANCAI ENVIRONMENTAL PROTECTION TECH CO LTD. — Китай. — № CN 202510628892A; заявл. 16.05.2025; опубл. 13.06.2025.
3. WANG Ming, WU Chao та ін. Reverse osmosis membrane as well as preparation method and application thereof : пат. CN 120115012A / BLUE STAR HANGZHOU MEMBRANE IND CO LTD. — Китай. — № CN 202510601748A; заявл. 12.05.2025; опубл. 10.06.2025.

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КАУСТИЧНОЇ СОДИ З РОЗРОБКОЮ ВИПАРНОГО АПАРАТА ТА АПАРАТА ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ

бакалавр Семенов Д.П., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *Розглянуто три патенти, які описують методи модернізації традиційного випарного апарату з низхідною плівкою. Проаналізовано їх принцип дії та наведено переваги та недоліки.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕРНІЗАЦІЯ, МАСООБМІН, ВИПАРНИЙ АПАРАТ З НИЗХІДНОЮ ПЛІВКОЮ, ПОТІК.

Розглянемо патент CN120324925A [1], який описує плівковий випарник та його розподільник (рисунок 1). Головною його патенту є створення пристрою, який би забезпечив рівномірне та стабільне формування рідинної плівки на внутрішній стінці теплообмінної труби, що є запорукою ефективного випаровування.

Випарник складається з трьох основних частин:

1. Секція подачі (10) розташована у верхній частині, має вхід для рідини (11) та вхід для пари (12)
2. Секція нагріву (20) містить численні випарні труби (21). Усередині цих труб встановлений розподільник (22).
3. Секція розділення (30) розташована внизу та відповідає за відділення пари від концентрованої рідини.

Під час роботи рідина надходить у спіральну головку, її обертання та відцентрова сила формують рівномірну плівку на стінках. Одночасно гаряча пара, що рухається вниз, підштовхує цю плівку, що робить її більш стабільною та безперервною

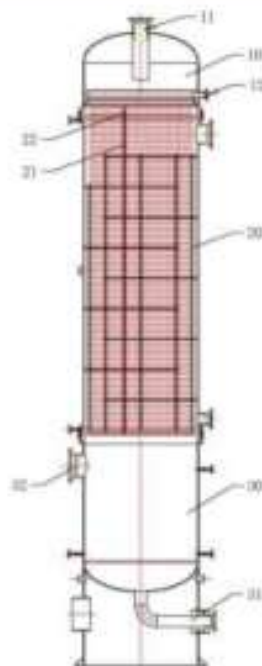


Рисунок 1 – Плівковий випарник та його розподільник

Перевагами винаходу є висока рівномірність плівки за рахунок відцентрової сили, що забезпечує рівномірність покриття внутрішніх стінок труби рідиною. Спільний рух пари та рідини в одному напрямку підсилює процес випаровування та запобігає розриву плівки.

Серед недоліків варто виділити складну будову розподільника через велику кількість рухомих частин. Також робота випарнику значною мірою залежить від потоку пари, оскільки при його нестабільності можуть виникнути проблеми в роботі апарату.

Патент CN120393469A [2] описує випарник для безперервного нагріву полімерного розплаву та видалення легких компонентів (рисунок 2). Цей випарний апарат застосовується в хімічній промисловості для виробництва полімерів і призначений для видалення залишкових летких компонентів — мономерів та розчинників — із полімерного розплаву. Конструкція складається з кожухотрубного нагрівача, де матеріал розплавляється та нагрівається, і основного корпусу випарника, з'єднаного з вакуумною системою. Усередині

корпусу встановлені багатоярусні гратчасті пластини з отворами, щільність яких поступово зменшується від верхніх шарів до нижніх.

У процесі роботи розплавлений полімер стікає по гратчастих пластинах, формуючи тонку плівку, що створює велику поверхню для випаровування летких компонентів. У вакуумному середовищі мономер та розчинники інтенсивно видаляються, а очищений полімер накопичується внизу для подальшої переробки. Така багатоярусна конструкція забезпечує тривале перебування розплаву в апараті та підвищує ефективність очищення без значного збільшення енергоспоживання.

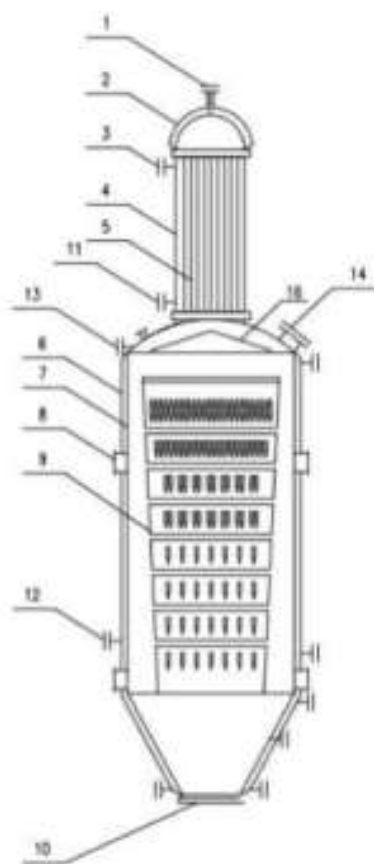


Рисунок 2 – Випарник для безперервного нагріву полімерного розплаву та видалення легких компонентів

Перевагами патенту є висока ефективність завдяки гратчастим пластинам, що дозволяють збільшити площу теплообміну і видалення легких компонентів.

Гратчаста система забезпечує рівномірний розподіл полімеру усуваючи мертві зони.

Серед недоліків варто зазначити складність конструкції як при виготовленні, так і монтажу. В свою чергу це збільшує вартість апарату у порівнянні з аналогами.

Патент CN119733255A [3] описує інтелектуальний пристрій для розподілу рідини у плівковому випарнику (рисунок 3). Головною особливістю у порівнянні з традиційними конструкціями є вирішення проблеми розподілу рідини. Ключовою проблема традиційних плівкових випарників є покладання на гравітацію або на прості розподільчі тарілки. Якщо ж потік сировини нестабільний, то рідина розподіляється нерівномірно: деякі випарні труби отримують забагато рідини (утворюється товста плівка, що знижує теплообмін), а інші — замало (плівка рветься або висихає, що призводить до перегріву та утворення накипу).

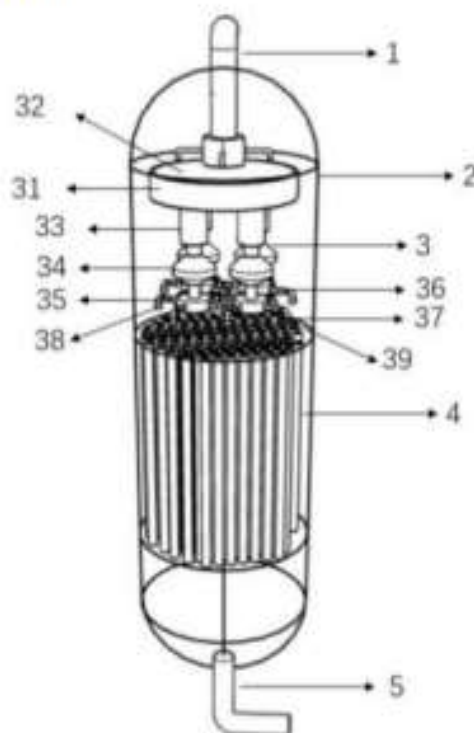


Рисунок 3 – Плівковий випарник з інтелектуальним пристроєм для розподілення

Пристрій являє собою багатоступеневу систему розподілу рідини в корпусі випарника, що складається з трьох послідовних блоків. Спочатку рідина надходить у первинний розподільний піддон, де формується рівномірний шар і згладжуються коливання потоку, після чого вона проходить крізь отвори вниз. Далі рідина потрапляє до підсилювального блоку, де насос зі змінною частотою підвищує тиск, роблячи подальший розподіл більш стабільним та контрольованим.

Ключовою частиною є інтелектуальний блок розподілу: рідина під тиском накопичується в піддоні та через систему труб із витратомірами й регулюючими клапанами подається до випарних труб. ПІД-контроль постійно коригує відкриття клапанів на основі показів витратомірів, забезпечуючи оптимальну подачу в кожну трубу. Це дозволяє формувати рівномірну плівку на стінках і підтримувати високу ефективність випарювання.

Перевагами технології є автоматичне коригування потоку без необхідності в зупинці апарату. Первинний і підсилювальний блок роблять систему нечутливою до нестабільного вхідного потоку рідини. Пристрій здатен регулювати потік у кожній із труб не допускаючи «переливу» та «висушування» потоку.

Серед недоліків варто виділити високу вартість у виготовленні пристрою пов'язану з необхідністю великої кількості датчиків, сенсорів, контролерів. При цьому цю всю електроніку потрібно тримати в чистоті та захистити від впливу агресивних речовин. В результаті відбуватиметься засмічення дрібними частинками в рідині, кристалізація окремих елементів на електроніці, що зменшить точність контролю та погіршить автоматичне регулювання.

Висновок: Патенти, що стосуються плівкових випарників зосереджені на досягненні ідеальної стабільності та рівномірності рідинної плівки. Інноваційні

рішення поділяються на два напрямки: використання обертових спіральних головок та керованих потоків пари для формування ідеальної плівки та боротьби з накипом та автоматизовані у вигляді систем ПД-контролю, які використовують насоси-підсилювачі та індивідуальні витратоміри з клапанами для корекції потоку в режимі реального часу. Обидва підходи відходять від залежності від гравітації та ручного налаштування, забезпечуючи безперервну роботу та низьку участь оператора в процесі.

Список використаної літератури:

1. LYU Haiyong, ZHANG Jingyi та ін. Falling film evaporator and distributor thereof : пат. CN 120324925A / ZHEJIANG BOKÉ HEAT EXCHANGE TECH CO Ltd. — Китай. — № CN 202510502186A; заявл. 21.04.2025; опубл. 18.07.2025.
2. SUN Jianfeng, XIAO Daming та ін. Evaporator for continuous melt polymer heating falling film light component removal : пат. CN 120393469A / CHINA TIANCHEN ENG CORP. — Китай. — № CN 202510566868A; заявл. 30.04.2025; опубл. 01.08.2025.
3. WANG Tao, FANG Mengxiang та ін. Intelligent liquid distribution equipment for falling-film evaporator and use method of intelligent liquid distribution equipment : пат. CN 119733255A / UNIV ZHEJIANG; XIZI CLEAN ENERGY EQUIPMENT MFG CO LTD. — Китай. — № CN 202510027779A; заявл. 08.01.2025; опубл. 01.04.2025.